



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2012

Erfahrungen mit den Feldversuchen im Rahmen des NFP59. In: Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen

Keller, B

DOI: <https://doi.org/10.3218/3484-4>

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-74681>

Book Section

Published Version

Originally published at:

Keller, B (2012). Erfahrungen mit den Feldversuchen im Rahmen des NFP59. In: Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen. In: NFP. Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen. Zürich, CH: Vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich, 226-237.

DOI: <https://doi.org/10.3218/3484-4>



Leitungsgruppe des Nationalen Forschungsprogramms NFP 59 (Hrsg.)

PROGRAMMSYNTHESE NFP 59

Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen

CHANCEN NUTZEN, RISIKEN VERMEIDEN, KOMPETENZEN ERHALTEN

Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen

PROGRAMMSYNTHESE NFP 59

Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen

CHANCEN NUTZEN, RISIKEN VERMEIDEN, KOMPETENZEN ERHALTEN

Leitungsgruppe des Nationalen Forschungsprogramms NFP 59 (Hrsg.)



vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

IMPRESSUM 1

Publiziert mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

Empfohlene Zitierweise

Herausgeber: Leitungsgruppe des NFP 59

Titel: **Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen**

Programmsynthese des Nationalen Forschungsprogramms 59

Ort: Bern

Jahr: 2012

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet abrufbar über <http://dnb.d-nb.de>.



ISBN 978-3-7281-3483-7 (Printausgabe)

ISBN 978-3-7281-3484-4/DOI 10.3218/3484-4 (open access)

www.vdf.ethz.ch



© 2012, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Das Werk, einschliesslich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

This work is licensed under a creative commons license



Inhaltsverzeichnis NFP 59

Vorspann	Risiken vermeiden, Chancen nutzen, Kompetenz erhalten (Zusammenfassung der Programmsynthese NFP 59)	12
	Nachhaltige Landwirtschaft	36
1	Risikoforschung und Ökologie	46
1.1	Biosicherheitsforschung in Europa	48
1.2	Schutzziele und Risikobewertung	62
1.3	Eigenschaften gentechnisch veränderter Pflanzen	74
1.4	Die Wechselwirkungen der gentechnisch veränderten Pflanzen mit ihrer Umgebung	96
	Meinung: Gentechnik: Ursprung, Konzept, Risikoevaluation und Zukunftspotenzial	118
2	Agrarökonomie und Gesetzgebung	122
2.1	Gentechnisch veränderte Pflanzen in der Schweiz – eine agrarökonomische Analyse	124
2.2	Erfahrungen mit der Koexistenz in der Europäischen Union	138
2.3	Rechtliche Rahmenbedingungen der Nutzung der Grünen Gentechnologie	154
	Meinung: Biogene Pflanzen: Gentechnisch veränderte Pflanzen für die biologische Landwirtschaft	176
	Meinung: Der Prüfstein für die Gentechnologie ist die Nachhaltigkeit	180
3	Gesundheit und Gesellschaft	184
3.1	Gesundheitliche Aspekte gentechnisch veränderter Pflanzen mit Relevanz für die Schweiz	186
3.2	Meinung, Konsum, Kommunikation und Akzeptanz	198
	Meinung: Irrungen, Wirrungen – die universitäre Ausbildung in den molekularen Pflanzenwissenschaften	220
4	Zukunft	224
4.1	Erfahrungen mit den Feldversuchen im Rahmen des NFP 59	226
4.2	Perspektiven des schweizerischen Gentechnikrechts	238
4.3	Neue genetische Techniken für die Pflanzenzucht	260
	Meinung: Bedeutung der Grünen Gentechnologie für die Ernährungssicherung in Drittweltländern	274
Anhang	Projektverzeichnis	278
	Glossar	286
	Abbildungsverzeichnis	298
	Tabellenverzeichnis	302

IMPRESSUM 2

Autorinnen und Autoren der Programmsynthese

- **Prof. Dr. Detlef Bartsch**
Mitglied der Leitungsgruppe NFP, Bundesamt für Verbraucherschutz
und Lebensmittelsicherheit, Berlin, Deutschland
- **Prof. Dr. Herbert Burkert**
Institut für Medien- und Kommunikationsmanagement MCM, Universität St. Gallen
- **Prof. Dr. Thomas Bernauer**
Delegierter des Nationalen Forschungsrats, ETH Zürich
- **Prof. Dr. Dirk Dobbelaere**
Präsident der Leitungsgruppe NFP 59, Universität Bern
- **Dr. Karoline Dorsch-Häsler**
Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59,
ehem. Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit, Ittigen
- **PD Dr. Christoph Errass**
Universität St. Gallen,
Gerichtsschreiber am Bundesgericht, Lausanne
- **Dr. Robert Finger**
Universität Wageningen, Holland
- **Prof. Dr. Joachim Frey**
Universität Bern
- **Prof. Dr. Urs Gasser**
Forschungsstelle für Informationsrecht, Universität St. Gallen
- **Univ.-Doz. Dr. Karin Hoffmann-Sommergruber**
Ehem. Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59,
Medizinische Universität Wien, Österreich
- **Prof. Dr. Beat Keller**
Universität Zürich
- **Dr. Stefan Kohler**
Vischer Rechtsanwälte, Zürich
- **Prof. Dr. Michael Siegrist**
ETH Zürich
- **Prof. Dr. Joachim Scholderer**
Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59, Aarhus School of Business, Dänemark
- **Prof. Dr. Daniel Schümperli**
Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59, Universität Bern

- **Prof. Dr. Rainer J. Schweizer**
Universität St. Gallen
- **Dr. Jeremy B. Sweet**
Cambridge, Grossbritannien
- **Prof. Dr. Wim Verbeke**
Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59, Universität Gent, Belgien
- **Prof. Dr. Dr. h. c. Wilfried Wackernagel**
Universität Oldenburg, Deutschland
- **Dr. Michael Weber**
ETH Zürich
- **Prof. Dr. Josef Zeyer**
Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59, ETH Zürich

Eingeladene Autorinnen und Autoren (Essays und Kurzbeiträge)

- **Prof. em. Dr. Werner Arber**
Universität Basel
- **Prof. Dr. Astrid Epiney**
Universität Freiburg
- **Prof. Dr. Christian Hardtke**
Universität Lausanne
- **Prof. Dr. Bernard Lehmann**
Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern
- **Prof. Dr. Urs Niggli**
Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick
- **Prof. em. Dr. Dr. Dr. h.c. Ingo Potrykus**
ETH Zürich
- **Dr. Eva Reinhard**
Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern
- **Prof. em. Gerhart U. Ryffel**
Universität Duisburg-Essen, Deutschland
- **Dr. Olivier Sanvido**
Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Bern
- **Dr. Lucius Tamm**
Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick

Begleitgruppe zur Programmsynthese

- **Prof. Dr. Bernard Baertschi**
Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie
im Ausserhumanbereich EKAH
- **Nadine Degen**
Schweizerischer Bauernverband, Bern
- **Dr. Markus Hardegger**
Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern
- **Herbert Karch**
Schweizerische Arbeitsgruppe Gentechnologie SAG, Bern
- **Dr. Jan Lucht**
scienceindustries, Zürich
- **Prof. Dr. Jean-Pierre Métraux**
Universität Freiburg
- **Prof. Dr. Urs Niggli**
Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick
- **Sara Stalder**
Stiftung für Konsumentenschutz SKS, Bern
- **Dr. Paul Steffen**
Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich

Leitungsgruppe des NFP 59

- **Prof. Dr. Dirk Dobbelaere** (Präsident)
Universität Bern
- **Prof. Dr. Detlef Bartsch**
Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit,
Berlin, Deutschland
- **Dr. Karoline Dorsch**
Ehem. Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit
- **Univ. Doz. Dr. Karin Hoffmann-Sommergruber**
Medizinische Universität Wien, Österreich (bis August 2007)
- **Dr. Pia Malnoë**
Agroscope Changins-Wädenswil
- **Prof. Dr. Jules Pretty**
Universität Essex, Grossbritannien
- **Prof. Dr. Joachim Scholderer**
Aarhus School of Business, Aarhus, Dänemark
- **Prof. Dr. Daniel Schümperli**
Universität Bern
- **Dr. Jeremy B. Sweet**
Cambridge, Grossbritannien
- **Prof. Dr. Wim Verbeke**
Universität Gent, Belgien (seit August 2007)
- **Prof. Dr. Josef Zeyer**
ETH Zürich

Beobachter des Bundes

- **Dr. Hans Hosbach**
Bundesamt für Umwelt BAFU

Delegierter des Nationalen Forschungsrats

- **Prof. Dr. Thomas Bernauer**
ETH Zürich

Programmkordinator

- **Dr. Pascal Walther**
(seit Dezember 2011)
Schweizerischer Nationalfonds SNF, Bern
- **Dr. Stefan Husi**
(bis Dezember 2011)
Schweizerischer Nationalfonds SNF, Bern

Konzept, Redaktion, Realisation

- **Dr. h. c. Beat Glogger**
Umsetzungsbeauftragter des NFP 59, scitec-media gmbh, Winterthur
- **Simone Nägeli**
scitec-media gmbh, Winterthur

Korrektorat

- **Dr. Bernd Knappmann**
- **René Bill**

Layout und Grafik

- **Andreas Keller**
SPLASH | Visual Communications GmbH, Zug

Übersetzung

- **Barbara Brunner**
SCITRANS, Rheinfelden
- **Semantis Translation SA**
Lausanne
- **Cristina Jensen**
Jensen Fachübersetzen GmbH, Bern

Für die erwähnten Forschungsergebnisse sind die jeweiligen Forschungsteams verantwortlich, für die Synthese und die Empfehlungen die Leitungsgruppe des NFP 59, deren Auffassung nicht notwendigerweise mit derjenigen des Schweizerischen Nationalfonds oder der Begleitgruppe übereinstimmen muss. Bei den (farblich hervorgehobenen) Essays handelt es sich um Meinungstexte der jeweiligen Verfasser. Einzelne Wertungen widerspiegeln dabei die Einschätzungen der Autoren und decken sich nicht zwingend mit der Meinung der Herausgeber.

Um die Lesbarkeit der Texte zu erhöhen, wurde darauf verzichtet, jeweils die männliche und weibliche Form zu verwenden (z. B. Bäuerinnen und Bauern, Konsumentinnen und Konsumenten). Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass jeweils alle Vertreterinnen und Vertreter der erwähnten Gruppe gemeint sind.

ZUSAMMENFASSUNG DER PROGRAMMSYNTHESE NFP 59

Risiken vermeiden, Chancen nutzen, Kompetenz erhalten

Die hier vorliegende Programmsynthese stützt sich auf 30 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen» (NFP 59) durchgeführte Forschungsprojekte und drei ausführliche Analysen einer Vielzahl relevanter Studien aus dem Ausland. Einleitend formulieren der Direktor und die Vizedirektorin des Bundesamtes für Landwirtschaft einige Überlegungen zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele in der Schweizer Landwirtschaft. Neben den Kapiteln, welche die Ergebnisse der Forschung im NFP 59 zusammenfassen, bietet die Programmsynthese auch fünf ausgewiesenen Experten Platz für Meinungstexte zu verschiedenen Aspekten der Grünen Gentechnik. Die vorliegende Programmsynthese hat das Ziel, wissenschaftliche Grundlagen für sachgerechte politische Diskussionen und Entscheidungen zur Grünen Gentechnik in der Schweiz zu liefern.

UMSTRITTENE GENTECHNIK

Der Mensch züchtet Kulturpflanzen seit Jahrtausenden und passt sie immer wieder seinen Bedürfnissen an. Das klassische Verfahren der Pflanzenzucht beruht darauf, durch die gezielte Auslese nützlicher Eigenschaften genetische Veränderungen in einer bestimmten Pflanze zu fördern. Heute bietet die sogenannte «Grüne Gentechnik» Möglichkeiten, die weit über jene der herkömmlichen Pflanzenzüchtung hinausgehen: Genetische Veränderungen können gezielt in die Pflanzen eingebracht werden und die Selektion der gewünschten Eigenschaften einer Pflanze lässt sich effizienter steuern.

Gentechnisch veränderte Pflanzen (GVP) werden seit über 15 Jahren in vielen Ländern der Welt kommerziell genutzt. Mehr als 40 verschiedene GVP sind inzwischen in der EU zur Verwendung als Lebens- und Futtermittel zugelassen.

Jedoch ist der Anbau von GVP umstritten und so werden in Europa nur gerade zwei gentechnisch veränderte Kulturpflanzen kommerziell genutzt: Mais und Stärkekartoffeln.

Auch in der Schweiz wird die Grüne Gentechnik seit Längerem kontrovers diskutiert (siehe Kapitel 1.1). Am 27. November 2005 stimmte das Schweizer Volk für ein fünfjähriges Moratorium bei der kommerziellen Nutzung von GVP. Dieses Moratorium wurde inzwischen durch das Parlament um weitere drei Jahre bis November 2013 verlängert. Nicht betroffen

DIRK DOBBELAERE

Präsident der Leitungsgruppe NFP 59

THOMAS BERNAUER

Mitglied des Nationalen Forschungsrates

ist die Forschung. Diese Ausnahme dient unter anderem dem Ziel, die Vor- und Nachteile der Grünen Gentechnik eingehender zu untersuchen. So beauftragte der Bundesrat denn auch den Schweizerischen Nationalfonds im Dezember 2005, das NFP 59 durchzuführen. Im Zentrum des Programms stand die Frage, inwieweit die Grüne Gentechnik einen Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft in der Schweiz leisten kann,

ob also aus Sicht des Umweltschutzes, der Landwirte sowie der Gesellschaft der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen in der Schweiz von Nutzen sein könnte. Zudem sollte das Forschungsprogramm untersuchen, ob sich für die Schweiz mit ihrer kleinräumig strukturierten Landwirtschaft

besondere Probleme oder auch besondere Chancen ergeben und ob eine Koexistenz von Landwirtschaftsformen mit und ohne Gentechnik möglich ist.

NACHHALTIGE NUTZUNG DER NATUR DURCH DEN MENSCHEN

Heute werden sowohl in der traditionellen als auch in der biologischen Landwirtschaft Kulturpflanzen eingesetzt, die durch züchterische Anpassungen den ursprünglichen Wildpflanzen nur noch

wenig ähnlich sind. Solche Anpassungen sind prinzipiell darauf ausgerichtet, einen höheren Ertrag zu erzielen und Verluste durch Schädlinge und Krankheiten zu reduzieren. Damit hat der Mensch über Tausende von Jahren tief in die Evolution vieler Pflanzen eingegriffen.

Die zielgerichtete Pflanzenzüchtung beruht auf der Erzeugung genetischer Variation und anschliessender Selektion

von nützlichen Eigenschaften. Dabei werden nicht nur natürlich vorkommende genetische Variationen genutzt. Bei vielen Kulturpflanzen wurden solche Variationen auch mithilfe von ionisierenden Strahlen oder mutagenen Chemikalien erzeugt. Welche genetischen Veränderungen bei diesen Eingriffen genau stattfanden, ist bis heute weitgehend unbekannt.

Denn das erzeugte Produkt mit seinen neuen Eigenschaften und nicht die zu seiner Erzeugung verwendete Methode stand im Vordergrund.

So sind sich zum Beispiel die wenigsten Konsumentinnen und Konsumenten bewusst, dass der heute angebaute Weizen vorwiegend von dem ursprünglichen Einkorn abstammt, in welches das gesamte Erbgut zweier Wildgräser eingekreuzt wurde. Diese massive Veränderung der genetischen Zusammensetzung

Der Mensch ist ein Bestandteil der Natur. Gegenseitige Anpassungen bilden die Basis für die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt. In diesem Sinne sind auch Anpassungen von Pflanzen an die Bedürfnisse einer zeitgerechten Landwirtschaft natürlich, sofern sie dem Ziel der Nachhaltigkeit entsprechen.

Der Weg zur Synthese

Auftrag und Budget

Im Dezember 2005 beauftragte der Bundesrat den Schweizerischen Nationalfonds, das NFP 59 durchzuführen und den Nutzen und die Risiken gentechnisch veränderter Pflanzen in Bezug auf die ökologischen, sozialen, ökonomischen, rechtlichen und politischen Verhältnisse in der Schweiz zu untersuchen.

Für die Durchführung des Programms standen über den Zeitraum von fünf Jahren 12 Millionen Franken zur Verfügung.

Das NFP 59 umfasste vier Themenschwerpunkte:

1. Pflanzenbiotechnologie und Umwelt: 19 Projekte; 6,7 Millionen Franken;
2. Politische, soziale und ökonomische Aspekte: neun Projekte; 2,2 Millionen Franken;
3. Risikobewertung, Risikomanagement und Entscheidungsprozesse: zwei Projekte; 0,6 Millionen Franken;
4. Übersichtsstudien, basierend auf der weltweit verfügbaren Fachliteratur: 0,2 Millionen Franken.

Nachdem Vandalen im Juni 2008 Teile des Versuchsfeldes in Zürich-Reckenholz beschädigt hatten, wurde das Budget zwecks Schutz der Freilandversuche in Pully und Zürich-Reckenholz um 3 Millionen Franken erhöht.

Auswahl und Dauer der Forschungsprojekte

Insgesamt wurden 30 Forschungsprojekte durchgeführt. Diese wurden aus einer grossen Anzahl von Vorschlägen nach Kriterien der wissenschaftlichen Qualität sowie Relevanz für den Schweizer Kontext ausgewählt. Das NFP 59 umfasste aus zeitlichen und finanziellen Gründen keine Projekte, die sich langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen von GVP auf Mensch und Tier widmen. Jedoch wurden in einer umfangreichen Literaturstudie alle relevanten weltweit verfügbaren Forschungsergebnisse ausgewertet. Somit können hier auch zu Fragen der Gesundheit zuverlässige Aussagen gemacht werden (siehe Kapitel 3.1). Zwei weitere Literaturstudien fassen die international verfügbare Literatur zu den Themen «Ökologie und Risiko» und «Gesellschaft, Agrarökonomie und Koexistenz in Europa» zusammen.

Die Forschungsprojekte des NFP 59 starteten in der zweiten Jahreshälfte 2007 und wurden zwischen dem Frühjahr 2009 und Ende 2011 abgeschlossen.

Zwischenbericht an den Bundesrat

Gemäss Auftrag des Bundesrates verfasste die Leitungsgruppe des NFP 59 einen Zwischenbericht. Dieser wurde am 13. Oktober 2009 vom Nationalen Forschungsrat und am 14. Oktober 2009 von dessen Präsidium genehmigt und am 16. November dem Bundesrat übermittelt.

2010 beschlossen die Eidgenössischen Räte eine Verlängerung des Moratoriums, um vor weiteren Entscheidungen die Schlussresultate des NFP 59 abzuwarten.

Stetige Kommunikation

Das NFP 59 legte grossen Wert auf offene und transparente Kommunikation innerhalb des Programms sowie gegenüber Interessenvertretern und der Bevölkerung. Dazu wurde die Website permanent mit Neuigkeiten aus dem Programm à jour gehalten. Ergänzend wurden sechs Newsletter publiziert und an jeweils 1000 Adressaten in elektronischer oder gedruckter Form verschickt. Die Forschenden veröffentlichten rund 70 wissenschaftliche Arbeiten und trafen sich zum interdisziplinären Austausch an zwei programminternen Konferenzen. Des Weiteren beteiligten sich Forschende sowie Mitglieder der Leitungsgruppe regelmässig an öffentlichen Symposien und Podiumsdiskussionen. Zusätzlich wurde eine öffentliche Vortragsreihe mit Diskussionsrunden organisiert.

Von Anfang an stiess das Forschungsprogramm auf ein breites öffentliches Interesse: zum Beispiel erschienen über 1000 Berichte zum NFP 59 in Zeitungen des In- und Auslandes.

Breit abgestützter Begleitprozess

Die Resultate des NFP 59 wurden in einem mehrstufigen Verfahren mit Vertretern der für das NFP 59 wichtigen Interessengruppen diskutiert. Dazu fanden einerseits mehrere Stakeholder-Workshops statt, an denen Vertreterinnen und Vertreter von Forschungsinstitutionen, eidgenössischen und kantonalen Ämtern, wissenschaftlichen Akademien, Samen- und Pflanzenproduzenten, der Eidgenössischen Ethikkommission, der Eidgenössischen Fachkommission für biologische Sicherheit, Branchenverbänden, NGOs, Bauernverbänden, der Industrie, dem Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung, Branchenvereinigungen und Konsumentenorganisationen teilnahmen. Die insgesamt drei Diskussionsrunden widmeten sich folgenden Themen: 1. Rechtliche Rahmenbedingungen und Koexistenz; 2. Risiko: Identifikation, Bewertung, Monitoring; 3. Konsum, Kommunikation und Akzeptanz.

Gegen Ende des Programms, in der Synthesephase, war eine Begleitgruppe mit Vertretern der wichtigsten Stakeholder-Gruppierungen – sowohl Befürworter als auch Gegner der Gentechnik – eingebunden. Sie lieferten bei der Gestaltung und der Entstehung des hier vorliegenden Syntheseberichts dreimal wichtige Inputs und Feedback.

Insgesamt ist es dem NFP 59 gelungen, die Stakeholder in das Programm einzubinden und die schwierige Thematik breit und sachlich zu diskutieren.

Abbildung A: Von der Urform zur Kulturpflanze

Klassische Züchtung erfolgt durch genetische Änderungen und Selektion von nützlichen Eigenschaften. So entstanden durch den Einfluss des Menschen die heutigen Sorten von Reis, Weizen und Mais aus wilden Urformen.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis



Klassischer Wildreis

Reispflanze

der Pflanze wurde durch den Einsatz von Colchizin möglich. Colchizin wird aus der Herbstzeitlose gewonnen und hat erbgutverändernde Eigenschaften.

Im Verlauf der Zeit haben also weitreichende Eingriffe in das Erbgut von Hunderten von Kulturpflanzen stattgefunden – Pflanzen, die heute als sicher und gesund gelten.

An diesem Massstab sollte auch die Grüne Gentechnik gemessen und bewertet werden. Denn sie ist eine Weiterentwicklung der klassischen Pflanzenzüchtung. Nicht nur das: Züchterische Veränderungen durch gentechnische Methoden sind präziser und effizienter als

die herkömmlichen Züchtungsmethoden. Sie erlauben es auch, neue, wertvolle Eigenschaften über Artengrenzen hinaus auf Kulturpflanzen zu übertragen.

MOLEKULARE PROZESSE UND GESCHWINDIGKEIT DER ANPASSUNG

Genetische Variationen treten in der Natur spontan und eher selten auf. Sie erfolgen nicht gezielt und ihre Auswirkungen sind mehr oder weniger zufällig. Die Pflanzenzüchtung hingegen strebt schnellere Variationen und Anpassungen an. Und die moderne Gentechnik erhöht die Geschwindigkeit dieser Ereignisse nochmals deutlich.



Einkorn

Weizenpflanze

Teosinte

Maispflanze

Vergleicht man jedoch die molekularen Prozesse, die in der Natur spontan und in der Gentechnik gezielt zur Bildung genetischer Varianten führen, sind keine prinzipiellen Unterschiede erkennbar.

Aus langer Erfahrung ist bekannt, dass weder die natürliche Evolution noch die klassische Pflanzenzüchtung schwerwiegende Risiken für Mensch und Natur bewirken. Also kann aufgrund der grossen Ähnlichkeit zwischen natürlichen genetischen Prozessen und gentechnischen Verfahren angenommen werden, dass allfällige Risiken der Grünen Gentechnik im gleichen Rahmen liegen wie die Risiken der herkömmlichen Pflanzenzüchtung.

GENTECHNISCH VERÄNDERTE PFLANZEN UND UMWELT

Das NFP 59 setzte sich intensiv mit dem Thema «Biosicherheit» auseinander. Von den 30 durchgeführten Projekten befassten sich deren elf mit einem Gesamtbudget von 3,2 Millionen Franken mit den möglichen Umweltrisiken gentechnisch veränderter Pflanzen. Diese Projekte beschäftigten sich mit der Bodenökologie, der Biodiversität, dem Genfluss und den Auswirkungen auf Nichtzielorganismen. Neun dieser Projekte bildeten ein interdisziplinäres Konsortium aus Forschungsgruppen der ETH Zürich, der Universitäten

Zürich, Bern, Basel, Lausanne und Neuchâtel sowie den Forschungsanstalten des Schweizer Bundesamts für Landwirtschaft, Agroscope Reckenholz-Tänikon und Changins-Wädenswil. Das Konsortium untersuchte in Freilandversuchen an zwei Standorten die Auswirkungen von gentechnisch verändertem Weizen auf symbiotisch lebende Wurzelpilze, Wildgräser, Insekten, Bodenmikroorganismen und Nachbarpflanzen.

Die für diese Versuche verwendeten gentechnisch veränderten Weizensorten waren bereits vor Beginn des NFP 59 mit öffentlicher Finanzierung in der Schweiz entwickelt worden und dienten in den Versuchen als Modellpflanze ohne jeden kommerziellen Zweck.

In einem Projekt der Universität Neuchâtel wurden auch die Auswirkungen von gentechnisch verändertem Mais auf bodenlebende Nützlinge untersucht. Und das Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL) analysierte die Folgen des Anbaus von gentechnisch verändertem Mais auf die Bodenfruchtbarkeit. Diese Versuche wurden im Labor, in Gewächshäusern oder im Freiland durchgeführt.

Keines dieser Forschungsprojekte konnte Umweltrisiken finden – auch keine für die Schweiz spezifischen –, die von der Grünen Gentechnik als solcher ausgehen

(siehe Kapitel 1.2). Ein Ergebnis, das im Einklang mit über 1000 Studien steht, die weltweit durchgeführt und im Rahmen des NFP 59 ausgewertet wurden. Zwar konnten in den seit mehr als 20 Jahren überall auf der Welt mit GVP durchgeführten Freilandversuchen vier negative Effekte identifiziert werden:

- Resistenzen bei Zielorganismen;
- Schädigung von Nichtzielorganismen;
- Einschränkungen der Biodiversität;
- Entstehung unerwünschter Unkräuter infolge übermässigen Einsatzes von Herbiziden.

Dies sind jedoch nicht typische Folgen der Gentechnik, sondern können genauso bei traditionell gezüchteten Pflanzen beziehungsweise bei nicht fachgerecht betriebener Landwirtschaft auftreten.

Die identifizierten nachteiligen Effekte sind alle nicht typische Folgen der Gentechnik, sondern treten auch bei konventioneller oder nicht fachgerechter Landwirtschaft auf.

Vereinzelte finden sich in der Fachliteratur Hinweise aus Laborversuchen, die auf schädliche Effekte von GVP auf Nichtzielorganismen hindeuten (zum Beispiel auf Marienkäfer, siehe Kapitel 1.1).

Solche Effekte liessen sich aber in Freilandversuchen unter realistischen Bedingungen nicht nachweisen und werden deshalb von den meisten Experten als vernachlässigbar eingestuft.

Mehrere Projekte des NFP 59 haben neue wissenschaftliche Methoden generiert, die für ein Umweltmonitoring im

Zusammenhang mit dem Anbau von GVP, sei es im Rahmen von Freilandversuchen oder des kommerziellen Anbaus, eingesetzt werden können (siehe Kapitel 1.3 und 1.4).

MENSCHLICHE UND TIERISCHE GESUNDHEIT

Im Ausland wurden sehr viele Studien zu den Auswirkungen von GVP auf die menschliche und die tierische Gesundheit durchgeführt. Im NFP 59 wurden zu diesem Themenbereich keine zusätzlichen Studien unternommen.

Denn es besteht kein Grund zur Annahme, dass der menschliche oder der tierische Organismus in der Schweiz anders auf GVP reagiert als im Ausland. Zudem waren Langzeitstudien im Zeitraum

eines Nationalen Forschungsprogramms nicht möglich. Deshalb hat das NFP 59 eine breit angelegte Analyse der weltweit verfügbaren Fachliteratur vorgenommen. Diese Analyse widerlegt die immer wieder geäusserte Befürchtung, dass GVP ein Gesundheitsrisiko für Mensch und Tier darstellen könnten.

Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen der ersten Generation werden im Ausland seit mehr als 15 Jahren grossflächig kommerziell angebaut. In diesen Pflanzen wurden Gene pflanzlichen oder mikrobiellen Ursprungs eingebaut, welche Toleranzen gegenüber Herbiziden

oder Resistenzen gegenüber Schädlingen bewirken. Alle diese Eigenschaften beruhen auf Wirkmechanismen, die der Natur entstammen. Die Schädlingsresistenz zum Beispiel kommt häufig durch sogenannte Bt-Proteine zustande. Diese Proteine werden in der Natur vom Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* produziert und wirken spezifisch auf verschiedene Insektenarten. Sie kommen in kristalliner Form häufig auch in der konventionellen und biologischen Landwirtschaft zum

Einsatz – und gelten als für Mensch, Nutz- und Haustiere unbedenklich.

Gentechnisch veränderte Pflanzen, die im Ausland kommerziell genutzt werden, haben alle intensive Sicherheitsbewertungen durchlaufen. Langzeit-

beobachtungen und viele wissenschaftliche Studien konnten bisher keine negativen Effekte kommerziell genutzter GVP auf die Gesundheit von Menschen oder Tieren nachweisen (siehe Kapitel 3.1).

In bestimmten Fällen könnte der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen sogar zur Vermeidung von Gesundheitsrisiken beitragen. So erlaubt etwa die Verwendung von herbizidtoleranten Pflanzen den Einsatz von Pestiziden, die weniger giftig sind. Dies kann insbesondere in Entwicklungsländern zu einem Rückgang der Vergiftungen von Landwirten beitragen. Auch der Einsatz von Bt-Mais kann

positive gesundheitliche Auswirkungen haben. Denn er führt zu einer geringeren Belastung von Lebens- und Futtermitteln durch neurotoxische oder krebserregende Mykotoxine. Diese Gifte werden durch Pilze produziert, welche vor allem kranke und verletzte Pflanzen befallen.

Im Entwicklungsstadium befinden sich gentechnisch veränderte

Nutzpflanzen der zweiten Generation. Solche werden hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe so verändert, dass sie eine gesündere Alternative zur herkömmlichen Pflanzensorte darstellen oder Konsumenten mit speziellen Bedürfnissen entgegenkommen. Mittels gentechnischer Verfahren können zum Beispiel der Nährwert der Pflanzen verbessert oder unerwünschte Inhaltsstoffe entfernt werden. Praktische Beispiele hierfür sind der 'Golden Rice' mit einem erhöhten Gehalt an Provitamin A, welches bei Menschen mit Mangelerkrankung die Erblindung verhindern kann, oder verschiedene Züchtungen von Apfel, Erdnuss, Reis, Tomate und Sojabohne, in denen die Hauptallergene reduziert wurden, womit die Pflanzen für Allergiker besser verträglich sind. Die gezielte Reduktion der Gluten-Proteine in Getreide kann Zöliakie-Patienten zugutekommen.

Der Einsatz von Bt-Mais kann positive gesundheitliche Auswirkungen haben. Er kann zu einer geringeren Belastung von Lebens- und Futtermitteln durch neurotoxische oder krebserregende Mykotoxine führen.

Obwohl die grüne Gentechnik seit rund fünfzehn Jahren eingesetzt wird, gilt sie noch immer als neue und unsichere Technologie.

Positive gesundheitliche Wirkungen werden auch von gentechnisch veränderten Pflanzen der dritten Generation erwartet, welche der Produktion von pharmazeutischen Substanzen dienen. GVP schließlich, die zur Gewinnung industriell verwendeter Rohstoffe gezüchtet werden, gelangen nicht in den Verzehr.

AKZEPTANZ DER GRÜNEN GENTECHNIK

Obwohl die Grüne Gentechnik schon seit rund 15 Jahren in der Landwirtschaft diverser Länder eingesetzt wird, gilt sie in breiten Bevölkerungskreisen noch immer als 'neue und risikobehaftete Technologie'. Ihre Akzeptanz in Europa, einschliesslich der Schweiz, ist nach wie vor gering (siehe Kapitel 3.2). Auffallend ist aber dabei, dass der Einsatz der Gentechnik in der Medizin, der

sogenannten Roten Gentechnik, inzwischen weitgehend akzeptiert ist (z. B. für die Herstellung von Insulin oder Impfstoffen).

Die Bedenken breiter Bevölkerungskreise gegenüber der Grünen Gentechnik kontrastieren mit der Tatsache, dass bis jetzt keine der befürchteten nachteiligen Wirkungen auf Umwelt und Gesundheit

wissenschaftlich nachgewiesen werden konnten. Festzustellen ist jedoch auch, dass die meisten Konsumentinnen und Konsumenten in gentechnisch veränderten Lebensmitteln keinen direkten Nutzen erkennen. Forschungsergebnisse des NFP 59 zeigen, dass Anwendungen der Gentechnik mit einem direkt ersichtlichen Nutzen positiver beurteilt werden. Als erkennbarer Zusatznutzen gelten zum Beispiel ein tieferer Preis oder eine längere Haltbarkeit. Solche Produkte zu kaufen sind Konsumenten eher bereit. Es kann also angenommen werden, dass GVP, welche die Umwelt weniger belasten, zu einer nachhaltigen Landwirtschaft beitragen oder gesundheitliche Vorteile aufweisen, auf eine grössere Akzeptanz stossen würden.

BEWERTUNG VON PRODUKT ODER PROZESS?

Die ersten in der Grünen Gentechnik eingesetzten Verfahren beruhten vorwiegend auf der Integration artfremder DNA aus nicht kreuzbaren Organismen wie zum Beispiel anderen Pflanzen oder Mikroorganismen. Mit den neuen gentechnischen Methoden wird eine neue Generation von

Die Bedenken gegenüber der Gentechnologie in der Landwirtschaft kontrastieren mit der Tatsache, dass bis jetzt keine der befürchteten nachteiligen Wirkungen auf Umwelt und Gesundheit aufgetreten sind.

Neue Methoden in der Grünen Gentechnik können zur Verbesserung der Biosicherheit beitragen.

GVP erzeugt (siehe Kapitel 4.3). Zum Beispiel können Pflanzen hergestellt werden, die keine Fremd-DNA mehr enthalten.

Oder es werden Pflanzen produziert, bei deren Entstehung zwar Gentechnik zum Einsatz kommt, der Eingriff aber im Endprodukt keine oder nur geringe Spuren hinterlässt. Eine weitere Methode erlaubt es, die genetischen Änderungen nicht an zufälligen, sondern exakt vordefinierten Orten vorzunehmen. Dadurch lassen sich gentechnische Eingriffe genauer überprüfen und verfolgen, was die Risikoabschätzung vereinfacht. Schliesslich kann man auch Pflanzen herstellen, bei denen nur Teile wie Blätter oder Stängel, nicht aber die Früchte gentechnisch verändert sind.

Andere neuentwickelte Verfahren ermöglichen die Steuerung der Aktivität von Genen, ohne dass das Genom der Pflanze verändert wird.

Diese neuen Verfahren nutzen zwar die Gentechnik, aber in den für den Anbau vorgesehenen Pflanzen ist die gentechnische Veränderung nicht oder kaum mehr nachweisbar. Folglich lassen sich diese Pflanzen nur noch sehr bedingt als gentechnisch verändert bezeichnen.

Von diesen «GVP der neuen Generation» gehen im Vergleich zu konventionell gezüchteten Pflanzen weniger unvorhersehbare Effekte aus. Sie sind also in Bezug auf die Biosicherheit den konventionell gezüchteten Pflanzen, bei denen viele unbekannte genetische Veränderungen erzeugt werden, aus pflanzenwissenschaftlicher Sicht überlegen.

Darum sollten GVP der neuen Generation bezüglich ihrer potenziellen Risiken analog zu denjenigen Pflanzen beurteilt werden, die konventionell gezüchtet werden. Die Risikobeurteilung sollte vom Produkt, also der Pflanze, ausgehen und nicht vom Prozess der Pflanzenzüchtung.

Dies entspricht im Übrigen dem Ansatz der Risikobeurteilung in der Lebensmittelindustrie, in der ein neu entwickeltes Nahrungsmittel, wenn es die gleiche Zusammensetzung aufweist wie ein bereits existierendes, als ebenso sicher eingestuft wird. Die Art und Weise, wie es produziert wird, ist für die Risikobewertung eines Produkts nicht entscheidend.

AGRARÖKONOMIE UND KOEXISTENZ

In der Regel zielen GVP bislang nicht darauf ab, Erträge zu erhöhen, sondern darauf, Ertragsverluste zu reduzieren beziehungsweise diese Reduktion zu möglichst tiefen Kosten zu erreichen. Eine Analyse

des ökonomischen Potenzials von GVP in der Schweizer Landwirtschaft zeigt, dass diese Pflanzen die Produktionskosten reduzieren könnten, insbesondere, wenn indirekte Nutzen wie beispielsweise die gleichzeitige Ein-

führung der Direktsaat berücksichtigt werden. Die Direktsaat wäre nicht nur ökonomisch interessant, sondern auch ökologisch: Die stark reduzierte Bodenbearbeitung würde zur Verringerung der Bodenerosion beitragen, was im Sinne der Ökologie und der Nachhaltigkeit zu begrüßen wäre (siehe Kapitel 2.1).

Berücksichtigt man zudem den globalen Trend, dass GVP mit einzelnen Merkmalen vermehrt durch solche mit kombinierten Merkmalen ersetzt werden, verschiebt sich die agrarökonomische Bilanz weiter zugunsten der gentechnisch veränderten Pflanzen. So könnte zum Beispiel eine kombinierte

Mit den neuen Techniken ist in den für den Anbau vorgesehenen Pflanzen keine gentechnische Veränderung mehr nachweisbar. Folglich kann man sie auch nur noch sehr bedingt als GVP bezeichnen.

Gentechnisch veränderte Pflanzen könnten in der Schweizer Landwirtschaft die Produktionskosten reduzieren. Insbesondere, wenn gleichzeitig die Direktsaat eingeführt wird.

Herbizid- und Krankheitsresistenz unter den für die Schweiz relevanten Bedingungen zu einer besseren Wirtschaftlichkeit von GVP führen.

Eine weitere wichtige Rolle für die Wirtschaftlichkeit spielen die Kosten der Koexistenzmassnahmen. Koexistenz bedeutet, dass landwirtschaftliche Anbausysteme mit und ohne Gentechnik nebeneinander möglich sind, ohne dass eine der beiden Formen von Anfang an ausgeschlossen wird oder Nachteile erfährt. Dabei müssen der Schutz der gentechnikfreien Produktion und die Wahlfreiheit der Konsumenten gewährleistet sein.

Koexistenzmassnahmen können insbesondere aufgrund der kleinstrukturierten Verhältnisse in der Schweiz zu Mehrkosten führen. Berechnungen zeigen jedoch auch, dass für alle landwirtschaftlichen Kulturen die Kosten für Koexistenzmassnahmen im Vergleich zu den gesamten Produktionskosten gering sind. Zudem könnten die Koexistenzkosten reduziert werden, wenn zusammenhängende Produktionszonen für Landwirtschaftsformen mit GVP geschaffen würden (siehe Kapitel 2.1). Solche

Zonen existieren beispielsweise für den Anbau von gentechnisch verändertem Mais in bestimmten Regionen Portugals. Portugal ist für den Vergleich mit der Schweiz deshalb relevant, weil dort die durchschnittliche Betriebsgrösse etwa derjenigen in unserem Land entspricht.

Ob die Kosteneinsparungen durch die Verwendung von GVP die Zusatzkosten zur Sicherung der Koexistenz aufwiegen, ist fallabhängig. Wichtig ist, die Kosten und Nutzen von GVP im Gesamtkontext eines landwirtschaftlichen Betriebes zu betrachten. Die Berechnungen zeigen allerdings, dass der Zusatznutzen von GVP in Relation zum gesamten Betriebseinkommen relativ niedrig ist und nie den Betrag übersteigt, der durch Direktzahlungen an den Landwirt fliesst. Somit bleibt auch mit GVP die Erfüllung des ökologischen Leistungsnachweises, an den Direktzahlungen geknüpft sind, für den Landwirt von zentraler Bedeutung. Grundsätzlich sollten die Bedingungen für diese Direktzahlungen bei einer allfälligen Entscheidung der Schweizer Landwirtschaft in Richtung Koexistenz keine Form des nachhaltigen Pflanzenbaus benachteiligen.

Die Kosten für Koexistenzmassnahmen sind im Vergleich zu den gesamten Produktionskosten gering. Und sie könnten noch reduziert werden – durch die Schaffung von GVP-Produktionszonen.

Der Zusatznutzen von GVP in Relation zum gesamten Betriebseinkommen ist relativ gering und übersteigt nie den Betrag, der durch Direktzahlungen an den Landwirt fliesst.

Gegenläufige Trends und eine Chance für die Nachhaltigkeit

Weltweite Zunahme

Der Einsatz der Grünen Gentechnik in der Landwirtschaft nimmt weltweit zu, wobei dieser allerdings stark auf einige Länder konzentriert ist (u. a. USA, Brasilien, Argentinien, Indien, Kanada). Die globale Anbaufläche von gentechnisch veränderten Pflanzen stieg im Jahr 2011 um acht Prozent auf 160 Millionen Hektaren. Mittlerweile kommen GVP in 29 Ländern zum Einsatz, wovon 19 den Schwellen- und Entwicklungsländern zuzurechnen sind. Diese Länder weisen einen doppelt so hohen Zuwachs der Anbaufläche von GVP auf wie die Industrieländer und umfassen rund 15 der weltweit insgesamt 16,7 Millionen GVP anbauenden Landwirte.

Bis zum Jahr 2015 werden weitere zehn Länder GVP landwirtschaftlich nutzen, wie die ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) schätzt.

Der zunehmende Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen erfolgt vor allem bei denjenigen Kulturpflanzen, die sich schon länger auf dem Markt behaupten, nämlich Soja, Mais, Raps und Baumwolle. Hinzu kommen in deutlich geringem Ausmass Zuckerrübe, Kartoffel, Luzerne, Zucchini, Tomate, Papaya, Peperoni und Pappel. Einige dieser Kulturpflanzen könnten auch für die Schweizer Landwirtschaft von Interesse sein.

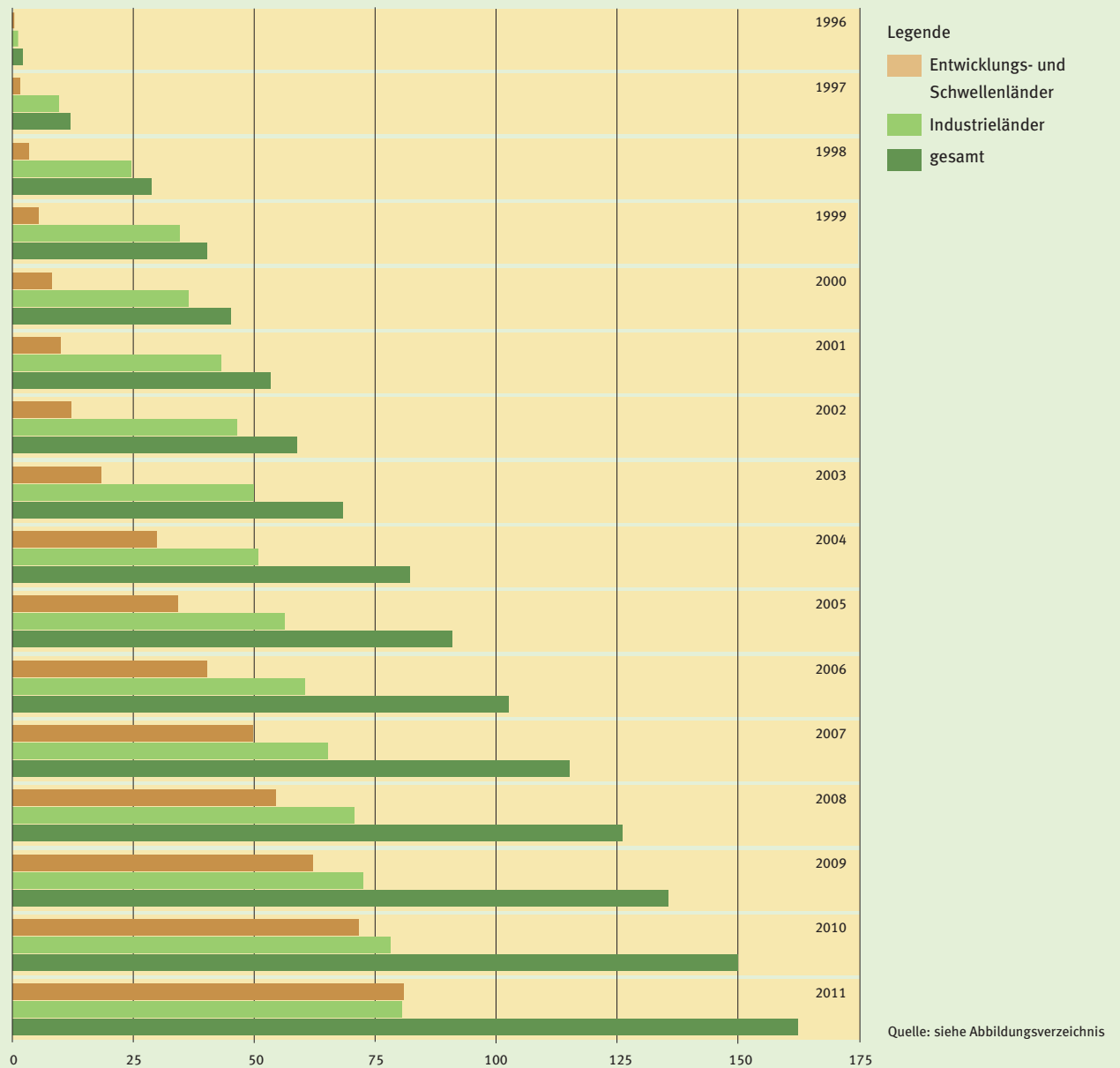
Auf rund einem Viertel der weltweiten Anbaufläche (40 Mio. ha) werden GVP angebaut, bei denen mehrere Eigenschaften gentechnisch eingebaut sind (Stacked Traits).

Gegenwärtig wird im Ausland an über 90 weiteren Kulturpflanzen geforscht, um sie mithilfe von gentechnischen Verfahren mit verbesserten Eigenschaften auszustatten und der landwirtschaftlichen Nutzung zuzuführen.

Europa gegenläufig

Entgegen diesem Trend ist in Europa die Entwicklung und Erprobung neuer GVP im vergangenen Jahrzehnt deutlich zurückgegangen. 2004 verlagerte das Schweizer Unternehmen Syngenta

Abbildung B: Weltweite Anbauflächen gentechnisch veränderter Pflanzen
(in Millionen Hektaren)



die Forschung im Bereich der Pflanzenbiotechnologie in die USA. Auch das deutsche Unternehmen BASF gab 2012 bekannt, dass die Entwicklung und Kommerzialisierung aller auf den europäischen Markt ausgerichteten GVP eingestellt und die Unternehmenszentrale der Gruppengesellschaft BASF Plant Sciences in die USA verlegt wird. Die BASF-Forschungsstandorte Gatersleben (Deutschland) und Svalöv (Schweden) werden geschlossen. Lediglich bestehende Produkte wie die Kartoffelsorte Amflora mit einem erhöhten Stärkegehalt werden weitergeführt.

Die Gründe für das Abwandern von Forschung und Entwicklung liegen nicht nur in der gentechnikkritischen Stimmung. In Europa sind auch die Entwicklungskosten besonders hoch, nicht zuletzt wegen der enormen Sicherheitsanforderungen. Gleichzeitig bewirken diese hohen Entwicklungs- und Sicherheitskosten, dass nur noch einige wenige Firmen überhaupt in der Lage sind, GVP zu entwickeln. Somit begünstigen ausgerechnet die umfangreichen Bewilligungs- und Sicherheitsanforderungen die (ebenfalls kritisierte) Konzentration der Entwicklung von GVP auf einige wenige Firmen.

Ein Beitrag zur Nachhaltigkeit

Die steigende Nachfrage und Produktion von Nahrungsmitteln belastet die Umwelt global. Auch die Schweizer Landwirtschaft stösst bei der Umsetzung der an sie gerichteten ökonomischen, ökologischen und sozialen Forderungen an Grenzen. Hier böte die Grüne Gentechnik Möglichkeiten, Produktionskosten, Umweltbelastung sowie das Risiko von Ertragseinbussen zu reduzieren, zum Beispiel durch den Einsatz gentechnisch veränderter Zuckerrüben und Kartoffeln. Weiter liesse sich durch den Einsatz gentechnischer Methoden die Behandlung von Apfelbäumen mit Fungiziden oder Streptomycin zur Bekämpfung von Apfelschorf und Feuerbrand reduzieren.

Ausserdem deuten Trends in Forschung und Entwicklung darauf hin, dass in absehbarer Zukunft neue Pflanzensorten verfügbar sein werden, die den nach wie vor zu hohen Stickstoff- und Phosphorverbrauch in der Schweizer Landwirtschaft reduzieren und besser an die Klimaveränderungen anpasst sind.

BEDEUTUNG VON FELDVERSUCHEN

Um Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und deren Umwelt zu erkennen, sind Feldexperimente in der Pflanzenzüchtung unumgänglich. Dies gilt unabhängig davon, ob konventionelle oder gentechnische Methoden angewendet werden. Während im Gewächshaus die Klimabedingungen kontrollierbar sind, sind Pflanzen in der freien Natur wechselnden Witterungsverhältnissen ausgesetzt. Auch unterscheiden sich die Menge und die Diversität der Schädlinge im Gewächshaus erheblich von jenen im Feld. Alle diese Faktoren wirken sich auf Wachstum und Ertrag der Pflanzen aus. Darum ist es wichtig, dass gentechnisch veränderte Pflanzen – sei es für Forschungszwecke oder konkrete Anwendungen – nicht nur im Labor und Gewächshaus, sondern auch auf offenem Feld untersucht werden. Zeigen Zuchtlinien unerwünschte Nebeneffekte, werden sie – wie bei jeder Züchtungsmethode – aus dem weiteren Zuchtverlauf ausgeschlossen.

Im Feld können aber nicht nur unerwünschte, sondern auch unerwartete

Um Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und deren Umwelt zu erkennen, sind Feldexperimente unumgänglich. Dies gilt unabhängig davon, ob konventionelle oder gentechnische Methoden angewendet werden.

Die Etablierung gesicherter Versuchsgelände (Protected Sites) würde die Durchführung von Freisetzungsversuchen erheblich erleichtern.

positive Effekte auftreten. Beispielsweise kann die Resistenz gegen gewisse Krankheitserreger im Freiland ausgeprägter zutage treten als im Gewächshaus.

Die Vielfalt der Experimente, die im Rahmen der beiden Feldversuche in Zürich-Reckenholz und in Pully durchgeführt wurden, liefert ein umfassendes Bild der Wechselwirkungen zwischen transgenem Weizen und seiner Umwelt (siehe Kapitel 1.4). So zeigten sich zwar gewisse Unterschiede zwischen gentechnisch veränderten und einzelnen konventionellen Weizensorten. Diese waren aber für viele Merkmale kleiner als die Unterschiede zwischen konventionellen Weizen-Linien. Ebenso zeigten sich standortabhängige Unterschiede, die grösser waren als Unterschiede zwischen gentechnisch veränderten und nicht gentechnisch veränderten Pflanzen.

Derartige Befunde können nur in Feldversuchen gewonnen werden. Und sie bilden die Basis für eine sinnvolle Konzeption von weiterführenden Experimenten im Labor und im Gewächshaus.

Hohe Ansprüche stellten bei den Freilandversuchen des NFP 59 das Bewilli-

gungsverfahren, die Kommunikation, die Logistik und die Durchführung sowie der Schutz der Felder. Nicht nur die fachlichen Anforderungen waren enorm, sondern auch die Kosten.

Insbesondere der Schutz der Versuchsfelder vor gezielten Zerstörungsaktionen war mit grossen Kosten verbunden. Die Sicherheitsmassnahmen kosteten im NFP 59 pro Forschungsfranken zusätzliche 0,78 Franken (siehe Kapitel

4.1). Darum ist für zukünftige Freilandversuche mit GVP eine Verbesserung der Rahmenbedingungen zu empfehlen. Diese sollten vor allem die Schaffung

sogenannter Protected Sites umfassen. Dabei handelt es sich um gesicherte Versuchsgelände, die vor Gewaltakten geschützt sind. Das Anliegen wurde bereits im Rahmen der neuen Botschaft des Bundesrates über die Förderung von Bildung, Forschung und Innovation in den Jahren 2013 bis 2016 mit besonderen Fördermitteln für die Errichtung eines gesicherten Versuchsgeländes auf dem Areal der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART berücksichtigt.

Weiter empfiehlt sich für die Fortführung der pflanzenwissenschaftlichen Forschung in der Schweiz die Verein-

fachung des Bewilligungsverfahrens für die Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen.

RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Eine rechtswissenschaftliche Analyse im Rahmen des NFP 59 untersuchte, inwieweit das Schweizer Gentechnikrecht eine ausreichende Rechtsordnung für die Ko-

existenz von Landwirtschaftsformen mit und ohne gentechnisch veränderten Pflanzen bildet. Die Analyse kommt zum Schluss, dass Artikel 7 des Gentechnikgesetzes (GTG) weiterhin die

Zielnorm der Koexistenzordnung beinhalten sollte. Sie fordert jedoch eine Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen. Insbesondere wird vorgeschlagen, dass Art. 7 GTG auch eine umfassende Delegationsnorm an den Bundesrat für die Garantie des Nebeneinanders verschiedener Produktionsformen enthalten sollte (siehe Kapitel 4.2).

Weiter sollten Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen vor Ablauf des Moratoriums auch Kriterien und Prozeduren für die allfällige Etablierung gentechnikfreier Gebiete oder von GVP-Produktionszonen umfassen.

Ein langfristiges Moratorium für den kommerziellen Anbau von GVP in der Schweiz würde eine Änderung der Bundesverfassung erfordern.

Vor Ablauf des Moratoriums sollten rechtliche Rahmenbedingungen für die allfällige Etablierung gentechnikfreier Gebiete oder von GVP-Produktionszonen geschaffen werden.

Die Etablierung gesicherter Versuchsgelände würde die Durchführung von Freisetzungsvorhaben erheblich erleichtern. Im Rahmen von Art. 14 GTG sind vereinfachte Melde- und Bewilligungsverfahren für Freisetzungsvorhaben gut denkbar.

Ein langfristiges Moratorium für den kommerziellen Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen in der Schweiz, wie es von einigen Interessengruppen gefordert wird, würde eine Änderung der Bundesverfassung erfordern. Denn diese erlaubt zwar bestimmte Schutz- und Fördermassnahmen zugunsten der mit konventionell gezüchteten Pflanzen betriebenen Landwirtschaft. Aber insgesamt sieht sie ein geordnetes, gleichberechtigtes Nebeneinander verschiedener landwirtschaftlicher Praktiken vor.

BILDUNGSPLATZ UND MONITORING

Gesellschaftliche Opposition sowie regulatorische Einschränkungen der Grünen Gentechnik in der Schweiz wirken sich unweigerlich auch auf die uni-

versitäre Forschung und Ausbildung von Studierenden und Doktorierenden aus. Sie könnten letztlich dazu führen, dass

die heute noch existierende Fachkompetenz im Gebiet der Grünen Gentechnik ins Ausland abwandert.

Jedoch ist der Erhalt der Fachkompetenz wichtig. Denn selbst wenn sich die Schweiz für ein permanentes Verbot der Grünen Gentechnik in der Landwirtschaft entscheidet, werden dennoch weltweit immer mehr Produkte gentechnischen Ursprungs oder Inhalts gehandelt. Und diese machen vor den Schweizer Grenzen nicht halt. Ein Verlust der Fachkompetenz in der Schweiz

würde letztlich zu einem Verlust der Fähigkeit führen, ein wirksames Monitoring im Bereich der Biosicherheit zu betreiben. Ebenso ist die wissenschaftliche Forschung auf Fachkompetenz angewiesen, um die Technologie im Sinne der Nachhaltigkeit unserer Landwirtschaft weiterzuentwickeln.

«Mir ist bekannt, dass es schwierig ist, politische Entscheidungen immer auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen. Ich erkenne an, dass es viel mehr Faktoren gibt, welche die Politik beeinflussen, wie zum Beispiel ethische, soziale und ökonomische Faktoren. Aber wenn wissenschaftliche Erkenntnisse nicht genutzt werden, ist es die Pflicht der Politiker, zu erklären, warum diese Erkenntnisse keine Berücksichtigung finden. Ich denke, solange dies erklärt und dadurch Transparenz erzeugt wird, wäre es zufriedenstellend für mich.»

Anne Glover
Chief Scientific Advisor, Europäische Kommission

Zentrale Schlussfolgerungen und Empfehlungen

1. Gentechnik in den Dienst einer nachhaltigen Landwirtschaft stellen

Die Schweizer Landwirtschaft ist mit ihren momentanen Produktionsmethoden nicht in der Lage, die für sie geltenden Umweltschutzziele zu erreichen. Gleichzeitig steht sie unter starkem Druck, ihre Wettbewerbsfähigkeit durch Senkung der Produktionskosten zu erhöhen. Dieser doppelten Herausforderung kann sie nur dann erfolgreich begegnen, wenn keine neue Technologie, auch nicht die Grüne Gentechnik, von vornherein ausgeschlossen wird.

Forschung und Entwicklung im Bereich gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) sollten sich mit höchster Priorität auf diese doppelte Zielsetzung ausrichten. In diesem Kontext ist die Forschungsförderung durch die öffentliche Hand, die keine kommerziellen Ziele verfolgt, am Gemeinwohl interessiert ist und auch die Interessen kleiner Bauernbetriebe und Saatguthersteller berücksichtigt, von grosser Bedeutung.

2. Die Risikobewertung muss sich am Endprodukt, nicht am Verfahren der Pflanzenzüchtung ausrichten

GVP sind grundsätzlich nicht mit höheren Risiken behaftet als konventionell gezüchtete Kulturpflanzen. Im Prinzip können bei allen Züchtungsverfahren Pflanzen entstehen, die nachteilige Effekte auf die Umwelt oder die Gesundheit von Mensch und Tier haben. Pflanzen mit solchen Eigenschaften werden bereits in der Entwicklungsphase ausgeschieden.

Auch in Bezug auf mögliche Folgen mangelhafter landwirtschaftlicher Praktiken (z. B. Resistenzbildung) sind zwischen konventionellen Kulturpflanzen und GVP keine signifikanten Unterschiede feststellbar.

Im NFP 59 sowie in vielen ähnlichen Forschungsprojekten im Ausland konnten keine Umwelt- oder Gesundheitsrisiken festgestellt werden, die spezifisch für gentechnisch veränderte Pflanzen sind. Deshalb sollte sich die Risikobewertung von Kulturpflanzen unabhängig vom Züchtungsverfahren auf die Pflanze und konkrete Formen ihrer Verwendung in der Landwirtschaft konzentrieren. Neue Kulturpflanzen sollten unabhängig vom Züchtungsverfahren vor ihrer Zulassung für den kommerziellen Anbau auf ihre Verträglichkeit für Mensch, Tier und Umwelt im Kontext der vorgesehenen Anwendungsbedingungen geprüft werden. Dieser Ansatz ist auch

deshalb empfehlenswert, weil sich die technologische Entwicklung dahin bewegt, dass letztlich die Unterschiede zwischen konventionell gezüchteten Pflanzen und GVP kaum mehr erkennbar sind.

3. Freilandversuche sind wichtig und müssen erleichtert werden

Freilandversuche sind für die Bewertung der Biosicherheit und auch die Verbesserung von GVP und konventionell gezüchteten Pflanzen wichtig. Denn positive oder negative Eigenschaften von Pflanzen können im Labor, Gewächshaus und Freiland unterschiedlich ausgeprägt sein. Letztlich müssen Pflanzen im Freiland entwickelt und auf mögliche Vor- und Nachteile untersucht werden, weil sie dort auch kommerziell angebaut werden.

Die Kosten für Freilandversuche mit GVP sind in der Schweiz im internationalen Vergleich extrem hoch. Deshalb führen Schweizer Forschende und Firmen ihre entsprechenden Versuche heute vorwiegend im Ausland durch. Jedoch könnten die hohen Zusatzkosten für Sicherheitsvorkehrungen durch die Einrichtung gesicherter Versuchsgelände (sogenannter Protected Sites) stark gesenkt werden. Solche Gelände würden es auch erlauben, das Bewilligungsverfahren für Freilandversuche stark zu vereinfachen. Die so reduzierten Zusatzkosten würden es Schweizer Pflanzenwissenschaftlern vermehrt ermöglichen, ihre Forschung in der Schweiz durchzuführen und so den Wissenschaftsstandort Schweiz zu stärken.

4. Eine Langzeitbeobachtung von Gesundheitseffekten ist sinnvoll

Wissenschaftliche Studien, die seit fast 20 Jahren in grosser Zahl im Ausland durchgeführt wurden, konnten keine nachteiligen Effekte von GVP auf die Gesundheit von Menschen und Tieren feststellen. Im NFP 59 wurden keine Studien dieser Art durchgeführt, weil kein Grund zur Annahme besteht, dass der menschliche oder tierische Körper in der Schweiz anders auf GVP reagiert als im Ausland. Dennoch ist eine Langzeitbeobachtung im Sinne eines «Post-market Monitorings» empfehlenswert. Dieses könnte ähnlich der Meldestelle für Medikamentennebenwirkungen organisiert sein.

Grundsätzlich sollten Langzeitbeobachtungen alle neuen Kulturpflanzen erfassen, unabhängig vom Züchtungsverfahren und sich sowohl auf positive als auch negative Effekte richten.

5. **Der ökonomische Nutzen der momentan für den kommerziellen Anbau verfügbaren GVP wäre in der Schweiz eher bescheiden, könnte jedoch in Zukunft steigen**

Der Einsatz von heute im Ausland bereits kommerziell angebauten GVP mit kombinierter Herbizid- und Krankheitsresistenz könnte auch in der Schweizer Landwirtschaft zur Senkung der Produktionskosten beitragen. Dies vor allem, weil solche Pflanzen die Direktsaat ermöglichen, welche auch einen positiven ökologischen Effekt hat.

Der Ertragsgewinn, der aus Schädlings- und Krankheitsvermeidung durch den Einsatz von GVP resultieren könnte, ist je nach Kulturpflanze unterschiedlich. Er ist bei den momentan für den kommerziellen Anbau im Ausland verfügbaren GVP eher bescheiden. Jedoch befinden sich unter den rund 90 im Ausland entwickelten GVP auch einige Kulturpflanzen (z. B. Zuckerrüben, Kartoffeln), die in der Schweiz sowohl bei den Produktionskosten als auch bei den Erträgen deutliche Zusatznutzen erbringen könnten.

Deshalb sollte die Schweiz ihre gesetzlichen Rahmenbedingungen nicht am Nutzen der heute bereits im Ausland angebauten GVP orientieren, sondern am Potenzial künftiger Pflanzen zur Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft.

Die Forschung sollte künftig deutlich mehr Gewicht auf kombinierte Pflanzenmerkmale sowie mögliche zukünftige Potenziale von GVP legen.

6. **Die Koexistenz von konventionell gezüchteten Kulturpflanzen und GVP in der Schweizer Landwirtschaft ist möglich**

Die Koexistenz von Anbausystemen mit und ohne Verwendung gentechnisch veränderter Pflanzen ist in der Schweiz grundsätzlich möglich. Die Kosten variieren je nach Kulturpflanze und Strukturierung des Anbaugebietes. Sie würden im Durchschnitt nur einen kleinen Prozentsatz der Produktionskosten ausmachen. Diese Kosten würden zudem bei grossräumigen Absprachen zwischen benachbarten landwirtschaftlichen Betrieben sowie durch den Anbau von Kulturpflanzen mit sehr geringem Ausbreitungsrisiko (z. B. Kartoffeln) deutlich sinken.

Die Hauptproblematik ist allerdings, dass die Summe der Einsparungen bei den Produktionskosten sowie der Nutzen durch Schädlings- und Krankheitsvermeidung durch den Einsatz von GVP ungefähr in der gleichen Grössenordnung liegt wie die Summe der höheren Kosten für gentechnisch

verändertes Saatgut und der Koexistenzkosten. Der Anbau von GVP würde sich also vor allem in Gegenden wirtschaftlich lohnen, wo die Koexistenzkosten durch Absprachen zwischen landwirtschaftlichen Betrieben gering sind, sowie bei GVP, die keine oder nur sehr geringe Grenzabstände zu Nachbarbetrieben erfordern.

Deshalb sollte der Gesetzgeber sich bei der Ausgestaltung der Koexistenzverordnung an wissenschaftlich abgesicherten Kriterien (z. B. für Grenzabstände) orientieren und Absprachen unter Landwirten beziehungsweise die Bildung von Anbauzonen für GVP nach Möglichkeit fördern.

7. **Die Ausgestaltung der Direktzahlungen und des Ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) sollte den Anbau von GVP nicht diskriminieren**

Die Prämien, die im Rahmen des ÖLN ausgerichtet werden, übersteigen mögliche Produktivitätsgewinne durch den Anbau von GVP bei weitem. Eine grundsätzliche Verweigerung des ÖLN für den Anbau von GVP käme also de facto einer Fortführung des Moratoriums gleich. Sie wäre aus wissenschaftlicher Sicht allerdings nicht zu rechtfertigen, weil sich GVP und konventionell gezüchtete Kulturpflanzen in ihren ökologischen Auswirkungen nicht a priori unterscheiden. Deshalb sollte sich die Ausgestaltung des ÖLN und der damit verbundenen Direktzahlungen nicht auf das Verfahren der Pflanzenzüchtung richten, sondern auf wissenschaftlich identifizierbare ökologische Effekte spezifischer Kulturpflanzen und der betreffenden Anbaumethoden.

8. **Konsumenten und Stimmbürger stehen der Grünen Gentechnik kritisch gegenüber, wünschen aber mehrheitlich die Wahlfreiheit**

Lediglich rund 20 bis 30 Prozent der Konsumenten in der Schweiz würden gentechnisch veränderte Nahrungsmittel kaufen. Rund 70 bis 80 Prozent befürworten allerdings die Wahlfreiheit zwischen gentechnisch veränderten und nicht gentechnisch veränderten Produkten. Untersuchungen des NFP 59 sowie vergleichbare Studien im Ausland zeigen, dass die Akzeptanz von gentechnisch veränderten Produkten tendenziell steigt, wenn Produkte angeboten werden, die substanzielle und deutlich kommunizierbare Vorteile für Konsumenten und Umwelt bieten. Diese Anforderungen erfüllen jedoch die heute kommerziell angebauten GVP noch nicht.

Die in der Schweiz momentan geltenden Vorschriften für die Kennzeichnung gentechnisch veränderter Produkte sind ausreichend, um den Konsumenten die Wahlfreiheit zu ermöglichen. Damit diese Wahlfreiheit aber auch de facto existiert und der Markt letztlich über die Wettbewerbsfähigkeit von GVP entscheiden kann, wäre auch ein Angebot an gentechnisch veränderten Produkten nötig.

9. **Rechtliche Rahmenbedingungen sollten die Koexistenz erleichtern**

Bundesverfassung, Gentechnikgesetz (GTG) und Landwirtschaftsgesetz erfordern, auch wenn sie vor allem die denkbaren Risiken der Gentechnologie eingrenzen wollen, zumindest implizit ein geordnetes, gleichberechtigtes Nebeneinander der landwirtschaftlichen Nutzung von Kulturpflanzen, die mit unterschiedlichen Züchtungsverfahren entwickelt wurden. Eine Verlängerung des Moratoriums für kurze Zeit zum Zweck der Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für die Zeit nach Ablauf des Moratoriums ist möglich. Eine langfristige Etablierung eines Moratoriums beziehungsweise Verbotes für GVP würde hingegen eine Änderung der Bundesverfassung erfordern.

Bei der Überarbeitung des GTG sollte weiterhin Art. 7 die Zielnorm für eine Koexistenzordnung darstellen. Das GTG sollte jedoch dahingehend ergänzt werden, dass unterschiedliche landwirtschaftliche Produktionsformen ohne Einbussen nebeneinander bestehen können.

Zudem sollte der Bundesrat ermächtigt werden, detaillierte Regelungen zu erlassen, die der Sicherstellung der Koexistenz dienen.

Weiter sind im GTG auch ergänzende Grundsatzbestimmungen nötig, die die Rückverfolgbarkeit, Dokumentation und Kennzeichnung, Durchführung von Massnahmen zur Sicherstellung der Koexistenz sowie die Haftpflichtordnung betreffen.

Schliesslich sollte der Gesetzgeber Kriterien und Prozeduren für die Schaffung von gentechnikfreien Gebieten definieren. Solche Kriterien sollten sich auf besondere Schutz- und Förderbedürfnisse beziehen.

Kapitel 2	Kapitel 3	Kapitel 4	
Agrarökonomie und Gesetzgebung	Gesundheit und Gesellschaft	Zukunft	Anhang

Nachhaltige Landwirtschaft

Die Landwirtschaft hat – national wie global – die Herausforderung, den Anforderungen der Nachhaltigkeit gerecht zu werden, immer noch nicht gemeistert. Nicht zuletzt deshalb, weil immer neue relevante, das System beeinflussende Faktoren erkannt werden. Vor diesem Hintergrund wäre es unklug, bei der Suche nach Lösungen eine Technologie von vornherein auszuschliessen. Sollte sich zeigen, dass die Anwendung der Gentechnologie für die Schweizer Landwirtschaft Vorteile bringt, müssen wissenschaftlich abgesicherte Anforderungen gewährleistet, dass der Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen in allen drei Dimensionen zur Nachhaltigkeit beiträgt: ökologisch, ökonomisch und sozial.

Unsere Teller wären nicht Tag für Tag gefüllt, gäbe es nicht die Bäuerinnen und Bauern. Sie produzieren qualitativ hochwertige Nahrungsmittel und tragen damit zur sicheren Versorgung der Bevölkerung bei. Allerdings kann eine ausreichende Versorgung nur solange gewährleistet werden, wie die natürlichen Lebensgrundlagen wie Wasser, Boden, Luft und die Artenvielfalt in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung stehen. Also muss die landwirtschaftliche Produktion darauf bedacht sein, Böden nicht zu übernutzen, Wasser nicht zu verunreinigen, die Luft nicht übermässig mit Schadstoffen zu belasten und die natürliche Artenvielfalt nicht zu gefährden.

Lokal wie global ist aber eine Degradation der Böden, ein Rückgang der Artenvielfalt und eine fortschreitende Klimaerwärmung festzustellen. Dem steht eine stetig steigende Nachfrage nach Nahrungsmitteln gegenüber. Als Folge werden die Ressourcen im Ökosystem knapp.

DIE SCHWEIZER LANDWIRTSCHAFT KANN NACHHALTIGER WERDEN

Auch die Schweizer Landwirtschaft stösst bei der Erfüllung sämtlicher Anforderungen der Nachhaltigkeit an Grenzen. Unsere landwirtschaftliche Produktion deckt heute rund 55 Prozent der von der Bevölkerung benötigten Kalorien ab. Die verbleibenden 45 Prozent werden aus Ländern importiert, deren Produktionsbedingungen wir bestenfalls nur oberflächlich kennen und

BERNARD LEHMANN

Direktor Bundesamt für Landwirtschaft

EVA REINHARD

Vizedirektorin Bundesamt für Landwirtschaft

die wir nicht beeinflussen können. Und die Fläche der besten Landwirtschaftsböden schrumpft infolge der intensiven Bautätigkeit stetig.^[1] Dass trotzdem auf immer geringerer Fläche immer mehr produziert werden kann, ist ein Verdienst der Grünen Revolution. Allerdings nimmt diese zu wenig Rücksicht auf die Qualität der natürlichen Lebensgrundlagen: Trotz grosser Anstrengungen und auch vieler messbarer Verbesserungen dank der Anfang der 1990er-Jahre lancierten Nachhaltigkeitsmassnahmen zieht die Landwirtschaft die ökologischen Ressourcen immer noch in Mitleidenschaft.

Die Bodenqualität wird durch Erosion, Unterbodenverdichtung und Schadstoffeintrag vermindert. Auch beim Wasser, bei der Luft und bei der Artenvielfalt kann die Schweiz die in den «Umweltzielen Landwirtschaft»^[2] definierten Ziele nicht erreichen. So müssen wir uns wohl eingestehen, dass zum Beispiel die angestrebte maximale Ammoniakemission aus der Landwirtschaft von 25'000 Tonnen in Ammoniak gebundenem Stickstoff pro Jahr mit der gegenwärtigen landwirtschaftlichen Produktionspalette kaum je zu erreichen sein wird. Gleiches gilt für die

Reduktion der gesamten Nitratemission. Weil bis heute keine nachhaltigen technischen Möglichkeiten zur Verminderung dieser Emissionen zur Verfügung stehen, käme als einziges Mittel zur Zielerreichung ein Verzicht auf Acker- und Kunstwiesenflächen zugunsten von Naturwiesen infrage.^[3] Dies hätte jedoch eine markante Verkleinerung der Anbaufläche respektive eine Senkung des Selbstversorgungsgrades bei den Ackerkulturen zur Folge.

Lücken sind auch bei der ökonomischen Nachhaltigkeit auszumachen. Die Schweizer Landwirtschaft hält mit der wirtschaftlichen Gesamtentwicklung des Landes nicht Schritt und muss ihre Wettbewerbsfähigkeit erhöhen. wenn die Produktionskosten reduziert und die Kompatibilität der agrarpolitischen Instrumente mit den internationalen Entwicklungen und Vorgaben verbessert werden.

PROGNOSEN STEHEN SCHLECHT

Die wachsende Sorge um die langfristige Nahrungsmittelversorgung kann auch durch die Zukunftsprognosen nicht gemildert werden. Das Bundesamt für Statistik sagt ein Wachstum der Schweizer

Trotz grosser Anstrengungen zieht die Landwirtschaft die ökologischen Ressourcen immer noch in Mitleidenschaft.

Die Schweizer Landwirtschaft hält mit der wirtschaftlichen Gesamtentwicklung des Landes nicht Schritt und muss ihre Wettbewerbsfähigkeit erhöhen.

Die nachhaltige Ernährung der Menschen verlangt nach neuen Ideen und Massnahmen entlang der gesamten Lebensmittel- und Wertschöpfungskette.

Bevölkerung um 1,5 Millionen auf 9 Millionen Menschen innerhalb der nächsten 50 Jahre voraus. Gemäss Hochrechnung der Vereinten Nationen werden bis 2050 über 9 Milliarden Menschen unseren Planeten bevölkern. Dieses rasante Bevölkerungswachstum wird mit grosser Wahrscheinlichkeit zu hohen und volatilen Weltmarktpreisen für Nahrungsmittel und damit einhergehend in weiten Teilen der Welt zu grösserer Armut, verbunden mit Hunger, führen. Vor diesem Hintergrund ist es aus globaler ökologischer Sicht sinnvoll, den heutigen Selbstversorgungsgrad der Schweiz zu halten. Es stellt sich die Frage, wie wir das erreichen.

Die nachhaltige Ernährung der Menschen, das heisst die Produktion von ökologisch, ökonomisch und sozial verträglichen Nahrungsmitteln, verlangt nach neuen Ideen und Massnahmen entlang der gesamten Lebensmittel- und Wertschöpfungskette.

Mit einer vorwiegend am Status quo ausgerichteten Strategie ist die Zukunftsfähigkeit unseres Ernährungssystems nicht gewährleistet. Oder wie Einstein sagt: «Kein Problem kann durch dasselbe Bewusstsein gelöst werden, das es erzeugt hat.» Damit fordert er uns auf, zur Lösungsfindung neue innovative Ansätze und Wege einzuschlagen.

VERÄNDERUNG VON ERBINFORMATION: NICHTS NEUES IN DER ZÜCHTUNG

Mögliche Lösungsansätze für die Probleme in der Landwirtschaft und der Ernährung verspricht man sich heute in weiten Kreisen von der Gentechnologie.

Dass die Gentechnologie in der Medizin grosse Akzeptanz gefunden hat, nicht aber im Agrarbereich (zumindest in Europa), mag auf den ersten Blick erstaunen. Denn seit die Menschen in unseren Breiten vor rund 8'000 Jahren sesshaft geworden sind und den Ackerbau und die Viehhaltung entwickelt haben, steht die Optimierung des Erbmateri als im Zentrum der landwirtschaftlichen Produktion.

Jede Form der Züchtung zielt darauf ab, biologische Eigenschaften von Tieren und Pflanzen zu verbessern. Nicht von ungefähr war es ein Bauernsohn – Gregor Mendel, der bereits als Kind im Gar-

ten beim Veredeln der Obstbäume mithilfe und Bienen züchtete –, welcher die Vererbungsregeln entdeckt und damit die Genetik begründet hat. Experimente mit Erbsen lehrten ihn, dass ein Organismus

als ein Mosaik von Merkmalen aufgefasst werden kann, die sich unabhängig voneinander vererben und neu kombiniert werden können.

Die Geschichte der Züchtung begann mit der Auslesezüchtung, bei der jene

Seit die Menschen den Ackerbau und die Viehhaltung entwickelt haben, steht die Optimierung des Erbmateri als im Zentrum der landwirtschaftlichen Produktion.

Individuen für die weitere Züchtung ausgewählt werden, bei denen die gewünschten Merkmale am stärksten ausgeprägt sind. Seit Gregor Mendel ist bekannt, dass nicht die Vermischung von «Blutlinien», sondern vererbte Gene, welche dominant oder rezessiv sein können, die «Bausteine des Lebens» darstellen. Entsprechend folgten mit der Kreuzung verschiedener gezielt gewählter Genotypen die Kombinationszüchtung, später die Hybridzüchtung und die Mutationszüchtung, welche Strahlen oder mutagene Chemikalien einsetzt, um den gewünschten Züchtungserfolg schneller zu erlangen.

Heute können mithilfe der Gentechnik die gewünschten Merkmale gezielt auf Pflanzen oder Tiere übertragen werden. Dass nun die Veränderung der Erbinformation nicht mehr dem Zufall überlassen, sondern von den Forschenden gezielt ausgeführt wird, ist der grundlegende Unterschied zwischen herkömmlicher Züchtung und Gentechnologie.

Doch nach wie vor ist jeder Züchtungserfolg das Resultat einer Modifikation der Erbinformation, das heisst der Neukombination der vier Bausteine, aus denen die in jeder Zelle aller Pflanzen und Tiere enthaltene DNA aufgebaut ist.

Vor diesem Hintergrund messen wir der Tatsache, dass es mit der Gentech-

nologie möglich ist, einzelne Gene gezielt aus ihrer Umgebung herauszulösen und über die Artgrenze hinweg gezielt in andere Organismen zu übertragen, eine ethisch philosophische, aber keine wissenschaftlich biologische Bedeutung bei. Die Universalität des genetischen Codes ist ein untrüglicher Hinweis auf den gemeinsamen Ursprung aller Organismen. Und auch die Natur vermag Erbinformation zwischen verschiedenen Arten auszutauschen.^{[4][5]}

ERFAHRUNGEN MIT GENTECHNISCH VERÄNDERTEN PFLANZEN IN DER LANDWIRTSCHAFT

Der erste kommerzielle Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) fand 1996 in den USA statt. Seither steigt die weltweite Anbaufläche kontinuierlich. Heute stehen auf etwa drei Prozent (0,16 Mrd. ha) der weltweiten landwirtschaftlichen Nutzfläche (5 Mrd. ha) und etwa elf Prozent (0,13 Mrd.) der weltweiten Ackerfläche (1,4 Mrd. ha) gentechnisch veränderte Pflanzen. Von den 16,9 Millionen Landwirten, welche 2011 gentechnisch verändertes Saatgut einsetzen, sind über 90 Prozent Kleinbauern in Entwicklungsländern.

In der Europäischen Union jedoch folgt die landwirtschaftliche Nutzung der Grünen Gentechnologie nicht dem weltweiten

Trend. In nennenswertem Umfang wird gentechnisch veränderter Mais nur in Spanien und Portugal angebaut.^[6]

Die weltweite kommerzielle Nutzung von gentechnisch veränderten Sorten konzentriert sich bisher vor allem auf Sojabohne, Mais, Baumwolle und Raps.

Die mit der Gentechnik neu eingeführten

Merkmale sind fast ausschliesslich Herbizid- und Insektenresistenzen. Problematisch dabei ist, dass

sich die Resistenzen

praktisch immer auf identische Gene und Wirkmechanismen beschränken.

Die Herbizidresistenz beruht bei über 80 Prozent der gentechnisch veränderten Kulturen auf der Resistenz gegen Glyphosat und Glufosinat.^[7] Diese bei-

den Breitbandherbizide werden auch im klassischen Ackerbau ohne gentechnisch veränderte Sorten sehr oft verwendet – Glyphosat seit beinahe 40 Jahren. Zur

Bekämpfung von Insektenschädlingen kommen mehrheitlich Bt-Toxine zum Einsatz, welche durch die gentechnisch veränderten Pflanzen selbst gebildet werden.

Die Folge einer jahrelangen kontinuierlichen Verwendung von ein und demselben Herbizid ist zwangsläufig die Bildung von Resistenzen bei Unkräutern.

Dasselbe gilt für Insektizide. Nach anhaltender, regelmässiger Anwendung eines einzelnen Mittels können die Zielorganismen Resistenzen entwickeln. Daher war es zu erwarten, dass in Feldern, wo Jahr für Jahr Glyphosat- und Bt-Pflanzen angebaut werden, früher oder später ge-

gen die Wirkstoffe unempfindliche Unkräuter und Schadinsekten auftreten.

Internationale Monitoringdaten zeigen, dass bisher

etwa 20 Unkrautarten gegen den Wirkstoff

Glyphosat resistent geworden sind. Der Umstand, dass auch auf Feldern ohne transgene Nutzpflanzen herbizidresistente Unkräuter gefunden wurden, veranschaulicht, dass das Auftreten von re-

sistenten Unkräutern

nur indirekt auf den Anbau von transgenen Pflanzen als solchen zurückzuführen ist.

Hauptproblem ist das

mangelhafte und einseitige Management. Nicht überraschend wurden

letztes Jahr in den USA entsprechend gegen das Bt-Protein resistente Maiswurzelbohrer gefunden.^[8] Als Ursachen werden ein unzureichendes Resistenzmanagement und die Vermarktungsstrategien der grossen Firmen genannt.^[9]

Dies zeigt, dass eine nachhaltige Landwirtschaft eine Strategie zur Vermeidung

Hauptproblem ist nicht die Gentechnik an sich, sondern das mangelhafte und einseitige Management.

Es gibt zahlreiche Studien, wonach GVP keine grössere Gefahr für die Umwelt oder die Lebensmittelsicherheit darstellen als herkömmlich gezüchtete Kulturpflanzen.

von Resistenzen verlangt und dass sich hinsichtlich dieser Problematik die Landwirtschaft mit GVP von der ohne GVP nicht unterscheidet. Der Resistenzentwicklung muss mit bekannten und bewährten Massnahmen entgegengewirkt werden. Im Zentrum steht die Diversifikation. Dazu gehören der Wirkstoffwechsel, die Kombination von mehreren Wirkstoffen, das Einrichten von Refugienflächen und nicht zuletzt die in der Schweiz erfolgreich praktizierte Fruchtfolge.

BEDEUTUNG DES NFP 59 FÜR DIE SCHWEIZER LANDWIRTSCHAFT

Die Resultate des NFP 59 liegen nun vor. Sie bestätigen zahlreiche ausländische Studien und Erfahrungen, wonach GVP keine grössere Gefahr für die Umwelt oder die Lebensmittelsicherheit darstellen als althergebrachte und herkömmlich gezüchtete Kulturpflanzen.

Ebenso zeigt das Forschungsprogramm, dass ein Nebeneinander von herkömmlicher und gentechnischer Produktion auch in der kleinräumigen Schweiz möglich ist. Diese Resultate sind wichtig, denn sie

Nicht Sicherheits- oder Machbarkeitsüberlegungen sollen beim Entscheid über die Anwendung der Gentechnologie in der Schweizer Landwirtschaft im Zentrum stehen, sondern ökologische, ökonomische und soziale Aspekte.

Noch fehlen gentechnisch veränderte Sorten, welche helfen könnten die spezifischen ökologischen Defizite der Schweizer Landwirtschaft zu beheben.

belegen, dass nicht Sicherheits- oder Machbarkeitsüberlegungen, sondern ökologische, ökonomische und/oder soziale Aspekte beim Entscheid über die Anwendung der Gentechnologie in der Schweizer Landwirtschaft im Zentrum stehen sollen; die drei Leitlinien also, nach welchen sich die landwirtschaftliche Produktion in der Schweiz gemäss Landwirtschaftsgesetz auszurichten hat.

Jedoch wollen in der Schweiz heute noch die Mehrheit der Bevölkerung und der Grossteil der Politiker auf den Anbau von GVP verzichten. Einige werden aufgrund der Resultate des NFP 59 ihre Meinung ändern. Andere werden aufgrund der fehlenden Marktakzeptanz für gentechnisch veränderte Produkte wie bis anhin die ökonomischen Vorteile, welche gentechnikfreie Produkte bieten, höher gewichten als die für sie wenig überzeugenden ökologischen Vorteile der gegenwärtig kommerzialisierten GVP.

Diese Haltung ist momentan zu akzeptieren. Denn noch fehlen gentechnisch veränderte Sorten, welche helfen könnten, die spezifischen ökologischen Defizite der Schweizer Landwirtschaft zu beheben.

Auch sind die Argumente des derzeitigen ökonomischen Vorteils einer vom Markt gewünschten gentechnikfreien Produktion nicht von der Hand zu weisen.

GENTECHNIK IM DIENST DER NACHHALTIGKEIT

Die Botschaft zur Weiterentwicklung der Schweizer Agrarpolitik in den Jahren 2014-2017^[1] stellt – neben der ökologischen Effizienzsteigerung – auch

die Stärkung des Unternehmertums und die demzufolge erwünschte bessere Ausrichtung auf den Markt ins Zentrum.

Die Landwirtschaftspolitik hat für entsprechend günstige Rahmenbedingungen zu sorgen, welche Produktion und Absatz landwirtschaftlicher Erzeugnisse in offeneren Märkten ermöglichen.

Jedoch ist der Staat auch dazu verpflichtet, die auf die Nachhaltigkeit einwirkenden Parameter regelmässig zu überprüfen und vor dem Hintergrund neu-

er wissenschaftlicher Erkenntnisse und weiterentwickelter Technologien korrigierende Massnahmen einzuleiten.

Hier sei an die eingangs erwähnten ökologischen Probleme der Schweizer Landwirtschaft erinnert, namentlich hinsichtlich des Stickstoff- und Phosphorverbrauchs. Die grüne Gentechnologie sucht seit ge-

raumer Zeit nach Lösungen, die Stickstoff- und Phosphoreffizienz zu verbessern. Es sind – wenn auch nicht unmittelbar – Forschungserfolge und neue Sorten zu erwarten, welche die Menge an ausgebrachtem Mineraldünger erheblich vermindern und einen Beitrag zur Schliessung der Kreisläufe leisten können. Auch die weiterführenden Arbeiten zu Resistenzen, insbesondere gegen die auch in der Schweiz

auftretenden Kartoffel- und Weizenkrankheiten, könnten für unsere Landwirtschaft interessant werden. Ebenso dürfte die Klimaveränderung neue

Sorten nötig machen, welche mittels Gentechnologie entwickelt werden könnten. Studien zeigen, dass bereits in absehbarer Zeit ausgewählte Regionen der Schweiz

aufgrund ausgedehnter Trockenperioden mit verringerten Erträgen zu rechnen haben.^[10]

Das heutige landwirtschaftliche Portfolio dürfte angepasst werden müssen. Als Erin-

nerung sei hier angeführt, dass der Hitze- und Trockenheitssommer 2003 in der Schweiz bis zu 20 Prozent Ertrags- und rund 500 Millionen Franken Einkommenseinbussen verursacht hat. Noch in diesem Jahr wird die erste trockenheitsresistente Maissorte auf den Markt gebracht werden.

Generell ist zu erwarten, dass sich die GVP der Zukunft stärker als heute auf den Markt ausrichten werden.

Die heutige Opposition gegen die Grüne Gentechnologie weist eine ethische sowie eine wirtschafts-politische Dimension auf.

Generell ist zu erwarten, dass sich die GVP der Zukunft stärker als heute auf den Markt ausrichten werden. Als Stichwort seien «Functional Foods»

genannt – Lebensmittel also, die neben der reinen Energiedeckung auch andere Bedürfnisse des neuzeitlichen Lebens, wie zum Beispiel gesundheitliche Aspekte,

positiv beeinflussen können. So dürften sich die Grüne und die Rote Gentechnologie in Zukunft hinsichtlich ihrer Ziele näher kommen, was neue Märkte öffnen wird.

Die Abhängigkeit der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit untereinander wird sich verstärken. Die Vorstellung ist attraktiv: Reduzierte Mengen an nötigen Produktionsmitteln senken die Kosten, erhöhen den Umweltschutz,

vermindern die Risiken für Ertragsverluste und erwirken damit Zeitgewinn und soziale Sicherheit. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die heutige europäische Opposition gegen

die Grüne Gentechnologie eine ethische sowie eine wirtschaftspolitische Dimension aufweist. Die starke Konzentration der Patentrechte bei privaten Firmen und die dadurch entstehende Abhängigkeit der Gentechnologienutzer lässt berechtigte Ängste aufkommen. Dies lässt sich nur ändern, indem die Nutzungsrechte so

Dies lässt sich nur ändern, indem die Nutzungsrechte so geregelt werden, dass sie nicht in wenigen privaten Händen konzentriert sind.

Sich aufgrund kurzfristiger marktwirtschaftlicher Vorteile die Optionen und Chancen für die Zukunft zu verbauen, wäre verantwortungslos.

geregelt werden, dass sie nicht in wenigen privaten Händen konzentriert sind.

Darum ist eine starke öffentliche Forschung in der Pflanzenzüchtung und im Pflanzenbau wichtig – auch in der Schweiz. Sie sollte auch gerade deswegen gefördert werden.

Die intensiven Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten lassen vermuten, dass in absehbarer Zukunft gentechnisch veränderte Pflanzen und Produkte auf dem Markt sein werden, welche dem Konsumenten klar erkennbare Nutzen und Mehrwerte aufzeigen.

Ein auf den Markt ausgerichtetes Landwirtschafts- und Ernährungssystem Schweiz wird sich den neu entstehenden Bedürfnissen stellen.

Die Agrarpolitik wird die Rahmenbedingungen so anpassen, dass es den unternehmerisch denkenden Schweizer Bäuerinnen und Bauern möglich sein wird, zeitgerecht und erfolgreich

auf die neuen Bedürfnisse reagieren zu können. Sich aufgrund kurzfristiger marktwirtschaftlicher Vorteile die Optionen und Chancen für die Zukunft zu verbauen, wäre nicht nur schade, sondern verantwortungslos. Wir sind aufgefordert, vorausschauend zu handeln und uns alle Optionen für die Zukunft offen zu halten.

LITERATUR

- [1] Schweizer Bundesrat (2012) Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik in den Jahren 2014-2017 vom 1. Februar 2012. 12.021.
- [2] Bafu (2008) Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0820. Bern.
- [3] Lehmann, B., Weber, M., Peter, S., Valsangiacomo, A. (2010) «Stickstoff 2020» – Möglichkeiten und Einschränkungen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Stickstoffemissionen in der Schweiz. Untersuchung zuhanden des Bundesamtes für Landwirtschaft.
- [4] McDaniel, L. D., Young, E., Delaney, J., Ruhnau, F., Ritchie, K. B., Paul, J. H. (2010) High frequency of horizontal gene transfer in the oceans. *Science*, 330, 50.
- [5] Stegemann, S., Keuthe, M., Greiner, S., Bock, R. (2012) Horizontal transfer of chloroplast genomes between plant species PNAS. Online Publication, DOI: 10.1073/pnas.1114076109.
- [6] James, C. (2012). Global status of commercialized Biotech/GM crops. ISAAA, 2011.
- [7] Sanvido, O., Romeis, J., Bigler, F. (2007). Ecological impacts of genetically modified crops: ten years of field research and commercial cultivation. *Adv Biochem Eng Biot* 107, 235-278.
- [8] Gassmann, A. J., Petzold-Maxwell, J. L., Keweshan, R. S., Dunbar, M. W. (2011) Field-Evolved Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm. *PLoS ONE* 6(7): e22629. DOI:10.1371/journal.pone.0022629.
- [9] Diskussionsbeitrag. www.biosicherheit.de
- [10] Fuhrer, J., Calanca, P., Defila, C., Forrer, H. R., Lehmann, B., Luder, W., Müller-Ferch, G., Mürger, A., Sonneveld, M., Uebersax, A. (2007) Landwirtschaft. In: OcCC / ProClim (Hrsg.). *Klimaänderungen und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf die Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. Bern, 41-53.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

Kapitel 2	Kapitel 3	Kapitel 4	
Agrarökonomie und Gesetzgebung	Gesundheit und Gesellschaft	Zukunft	Anhang

1. Risikoforschung und Ökologie



1.1 Biosicherheitsforschung in Europa

«Nachhaltige Entwicklung» – so der frühere Präsident der wissenschaftlichen Fachorganisation für deutschsprachige Ökologen, Professor Wolfgang Haber, – «kann nur gelingen, wenn wir die Ökologie nicht verklären, sondern in realistischer Einschätzung in die Massnahmen [zur Sicherung unserer Lebensgrundlagen] einbeziehen».^[1] Eine in diesem Sinne verstandene Nachhaltigkeit ist offen für den verantwortungsvollen Einsatz neuer Techniken in der Pflanzenzüchtung. Doch: Sind gentechnisch veränderte Pflanzen so sicher für die Umwelt wie herkömmliche Züchtungsprodukte? Dieser Frage ging nicht nur die Schweizer Biosicherheitsforschung im NFP 59 nach.

DETLEF BARTSCH

HAUPTTHEMEN DER INTERNATIONALEN UMWELTRISIKOFORSCHUNG

Untersuchungen zur Beurteilung der Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen gibt es seit der ersten Entwicklung solcher Pflanzen. Zu Beginn – etwa Mitte der 1980er-Jahre – wurden die Kulturpflanzen Tomate, Sojabohne, Baumwolle, Raps und Mais gentechnisch verändert. Bei ihnen standen in der Risikoforschung augenscheinliche Beobachtungen der Pflanzen auf dem Feld im Vordergrund. Erst Anfang der 1990er-Jahre begann die experimentelle Risikoforschung. Diese Entwicklung spiegelt sich in den Beiträgen wider, die an der seit 1990 stattfindenden ISBGMÖ-Konferenz (International Symposium on Biosafety of Genetically Modified Organisms) präsentiert werden.¹ Die Themenschwerpunkte der Konferenzen sind ein Abbild der erkenntnistheoretischen Entwicklung in der Sicherheitsforschung: Es begann 1990 mit Auskreuzungsstudien bei Mais und beinhaltet heute komplexe Genfluss-Studien mit Wildpflanzen über mehrere Generationen. Der Bogen spannt sich von damals einfachen Vergleichen der gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) mit ihren Eltern bis aktuell zu umfangreichen Vergleichstests mit mehreren konventionell erzeugten Kulturpflanzenarten. Letzterer Vergleich wurde wichtig, weil man mit den Jahren gelernt hat, dass gentechnische Eingriffe auch Veränderungen im Erbgut hinterlassen können, die über jene

mit dem Einbringen eines einzelnen Gens beabsichtigten hinausgehen. Beispielsweise kann bei bestimmten gentechnischen Verfahren wie der biolistischen² Genübertragung gelegentlich ein DNA-Teilstück aus Nachbarzellen mit übertragen werden. Hier wird der Vergleich zur herkömmlichen Züchtung wichtig.

Denn jeder experimentelle Eingriff ins Erbgut, sei es durch den Einsatz von Chemikalien oder Radioaktivität in der klassischen Mutationszüchtung, sei es durch biologische Methoden

wie Zellfusion, kann unbeabsichtigte Effekte erzeugen. Deshalb ist es wichtig, dass die Effekte der Gentechnik im Vergleich zu jenen der klassischen Züchtung geprüft werden, um so eine Bewertung anhand vertrauter Phänomene zu ermöglichen. Jedoch gibt es auch Kritiker, die eine vergleichende Bewertung ablehnen und stattdessen eine – wie sie es nennen – ‚problemorientierte Herangehensweise‘ fordern.³ Diese Herangehensweise wird allerdings in den westlichen Industriestaaten und vielen Schwellenländern nicht favorisiert, unter anderem, weil damit jede neue Technologie einer komplexen Grundsatzdebatte unterworfen würde und deshalb für Innovationen beziehungsweise Problemlösungen nicht zur Verfügung stünde. Wie auch immer, die Forschungsergebnisse haben grosse Bedeutung für die Risikoprüfung von GVP.

Die Effekte der Gentechnik müssen im Vergleich zu jenen der klassischen Züchtung geprüft werden, um eine Bewertung anhand vertrauter Phänomene zu ermöglichen.

MÖGLICHE RISIKEN

Die biologische Sicherheitsforschung soll zur Klärung folgender Punkte beitragen:

- unerwünschte Auswirkungen als Folge einer Einbürgerung und Ausbreitung von GVP;
- Resistenzentwicklungen bei Schädlingen;
- möglichst schonende Behandlung von Nichtzielorganismen, darunter viele Nützlinge;
- Auswirkungen auf die Fruchtfolgen und Erntemassnahmen;
- Nebenwirkungen auf biogeochemische Kreisläufe.

Solche Auswirkungen sind nicht erst seit der Entwicklung von GVP bekannt. So wurde zum Beispiel der populärwissenschaftliche Begriff «Superunkräuter» bereits Jahrzehnte vor der Gentechnologie geprägt, nämlich im Jahr 1948. Der amerikanische Botaniker Edgar Anderson meinte damit die Übertragung von Erbinformation von Kulturpflanzen auf verwandte Wildarten, die dadurch unerwünschte Eigenschaften erwerben: Sie werden zu Unkräutern, indem sie den landwirtschaftlichen Schutz, der eigentlich nur für die Kulturpflanze gedacht ist, nutzen, ohne dem Landwirt den erwarteten Ertrag zu erbringen.

Weitere allgemeine Schlussfolgerungen aus der Forschung sind, dass Kreuzungen zwischen Kultur- und Wildpflanzen häufig auf bestimmte Gebiete beschränkt sind: Das heisst, Genfluss erfolgt nicht immer und überall.

Ablauf der Risikoprüfung in der EU

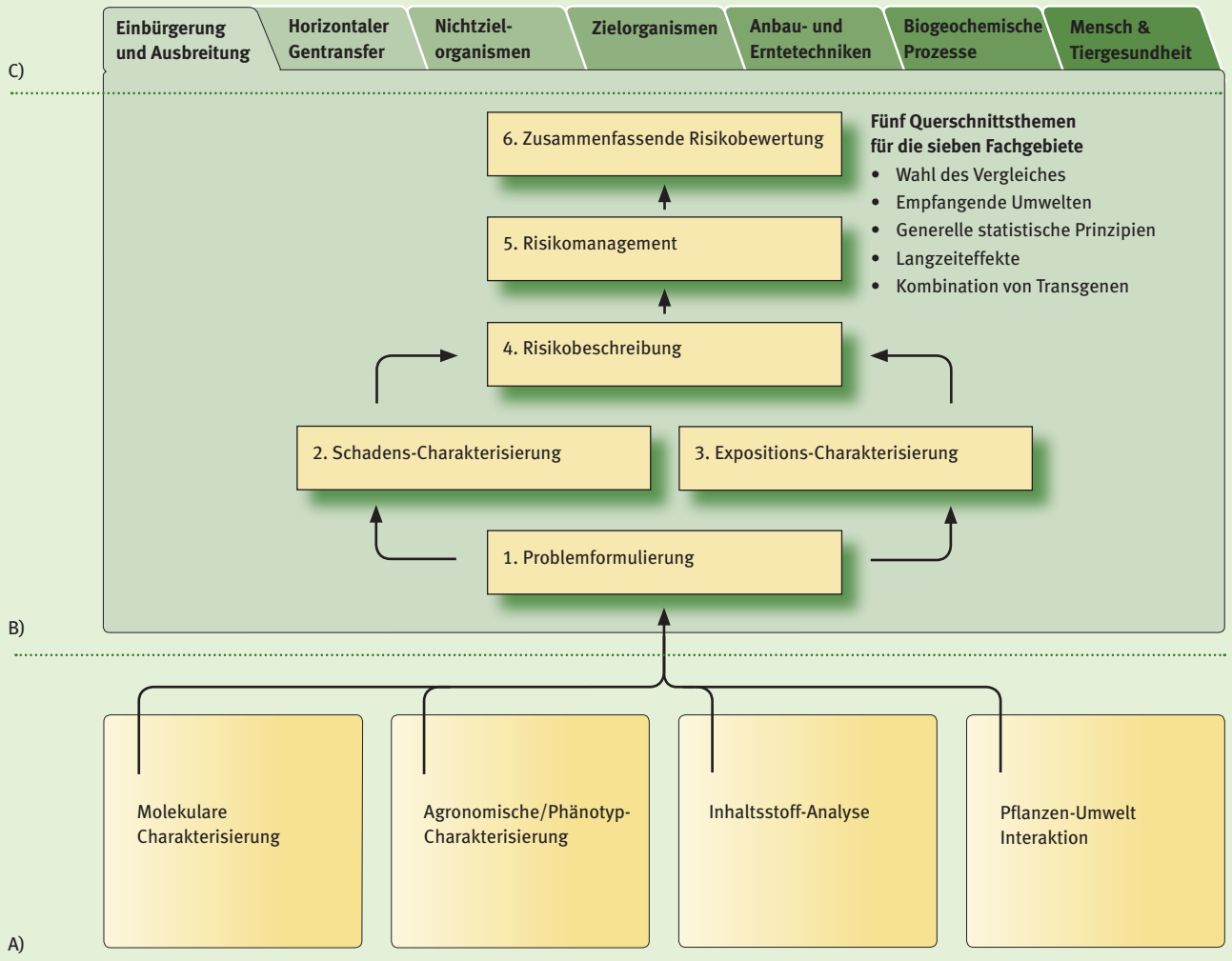
In der EU wird die Umweltrisikoprüfung von der Europäischen Lebensmittelbehörde (EFSA) mit Sitz in Parma (Italien) koordiniert. Die Prüfung erfolgt auf Basis wissenschaftlicher Daten, nach dem Prinzip der relativen Risikobewertung («GVP sind so sicher wie...»), mit akzeptierten Standards aus der klassischen Pflanzenzüchtung. Dabei verlässt sich die EFSA nicht nur auf die Grunddaten, die jeder Antragsteller vorlegen muss, sondern auch auf die Einschätzung von Fachleuten aus Ökologie, Gesundheit und Molekularbiologie. Zusätzlich werden unabhängig publizierte Studien aus der Literatur zur Prüfung eines einzelnen Antrags herangezogen. Eine Übersicht über die komplexe Vorgehensweise gibt Abbildung 1.1.

Abbildung 1.1: Das Prinzip der Umweltrisikoprüfung in der EU

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Ausgangspunkte sind:

- Daten aus dem 4-Säulen-Prinzip, die dann
- in einer 6-Schritt-Analyse unter Berücksichtigung von
- fünf Querschnittsthemen für die sieben Fachgebiete bewertet werden.



Auch führen Auskreuzungen nur in sehr seltenen Fällen zu einem Verlust von genetischer Diversität. Bekannte Beispiele gibt es dafür bisher nur für konventionelle Pflanzen, zum Beispiel bei der Verdrängung von wilder Luzerne durch Kultursorten in der Schweiz.

Ob gentechnisch verändert oder konventionell gezüchtet: Die Konsequenzen der Übertragung von Genen aus Kulturpflanzen auf Wildpflanzen sind fallweise in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen zu betrachten.

In den letzten zwei Jahrzehnten sind umfangreiche öffentliche Finanzmittel in die Erforschung der biologischen Sicherheit von GVP geflossen. Die Ergebnisse wichtiger Studienprogramme werden im Folgenden dargestellt.

INTERNATIONALE STUDIEN

Nach Angaben der EU-Kommission haben GVP das Potenzial, vor allem in weniger entwickelten Ländern die Unterernährung einzudämmen, die Ernteerträge zu steigern und zur Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel beizutragen. Gleichzeitig diene die Forschung der Erkundung strenger Sicherheitsvorkehrungen, um mögliche Risiken unter Kontrolle zu halten.

Im Jahr 2010 veröffentlichte die Europäische Kommission eine Zusammenfassung über Projekte zur biologischen Sicher-

heitsforschung der zurückliegenden zehn Jahre^[2]. Der Bericht gibt einen Überblick über die Ergebnisse von 50 Forschungsprojekten, mit denen vor allem die Sicherheit von genetisch veränderten Organismen (GVO) für die Umwelt und die Gesundheit von Mensch und Tier untersucht wurde.

Schon zuvor gab es zahlreiche Veröffentlichungen über EU-unterstützte Forschung zur Sicherheit von GVO,^[3] an denen

mehr als 500 unabhängige Forscherteams über gut 25 Jahre verteilt gearbeitet haben. Zusammenfassend geht daraus hervor, «dass es bisher keine wissenschaftlichen Hinweise darauf

gibt, dass [zugelassene] GVO eine grössere Gefahr für die Umwelt oder die Lebens- und Futtermittelsicherheit darstellen als herkömmliche Pflanzen und Organismen».

Die in dem EU-Bericht beschriebenen Forschungsprojekte befassten sich mit wissenschaftlichen Fragen in gesellschaftlich umstrittenen Bereichen:

- Entwicklung analytischer Instrumente und Methoden für den Nachweis von GVO in Lebens- und Futtermitteln;
- Unterstützung der EU-Politik zur Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit von GVO in Lebens- und Futtermitteln;
- Entwicklung neuer Konzepte für die Sicherheitsbewertung der potenziellen Auswirkungen von gentechnisch veränderten Lebensmitteln auf die Gesundheit;

- Verbesserung von Nutzpflanzen durch genetische Veränderung, zum Beispiel durch Pathogenresistenz;
- gesteigerte Nachhaltigkeit der Landwirtschaft durch verbesserte Stickstoffverwertung bei Nutzpflanzen;
- Management des Genflusses, des Gentransfers und der Koexistenz von GVP und nicht genetisch veränderten Pflanzen;
- Beurteilung der Auswirkungen von GVP auf die biologische Vielfalt.

Damit hat die EU seit 1982 insgesamt über 300 Millionen Euro in die Forschung zur biologischen Sicherheit von GVO investiert. Zusätzlich zur EU haben weitere EU-Mitgliedstaaten einzelne zum Teil sehr umfangreiche und zeitlich länger dauernde Untersuchungen gefördert. Dazu gibt es an dieser Stelle drei prominente Beispiele:

Grossbritannien

Die britische Regierung förderte mit etwa 5 Millionen Pfund unabhängige Studien, die sich hauptsächlich mit Auswirkungen von herbizidtoleranten Pflanzen auf die Biodiversität in der Landwirtschaft beschäftigten. Untersucht wurden Fruchtfolgen mit gentechnisch veränderten Futterrüben sowie gentechnisch verändertem Mais, Sommer- und Winterraps. Die Ergebnisse fallen unterschiedlich aus: Der Anbau von konventionellen Futterrüben und konventionellem Sommerraps war für das Vorkommen vieler Tiergruppen wie Bienen und Schmetterlinge vorteilhaft,

Was ist ein (Umwelt-) Risiko?

Die Risikoanalyse bei gentechnisch veränderten Pflanzen ist Ausdruck des Umgangs mit Unsicherheiten bei der Nutzung neuer Technologien, bei denen anfangs nur wenige oder gar keine Erfahrungen vorliegen – oder vorliegen können. Der Begriff «Risiko» ist definiert durch zwei gleichberechtigte Faktoren: Schadensmass und Eintrittswahrscheinlichkeit.

Die Einschätzung eines Schadens ist von normativen Massstäben abhängig (siehe Kapitel 1.2). Dabei geben die länderspezifischen Gesetze meist nur einen groben Rahmen, wie ein potenzieller Schaden im Einzelfall abzuschätzen ist.

Nicht wesentlich einfacher gestaltet sich die Prognose von Eintrittswahrscheinlichkeiten, vor allem, wenn ein möglicher Umweltschaden noch nicht bekannt ist. Ein wichtiges Beispiel hierfür ist die Bewertung der Auskreuzung von GVP auf verwandte Arten. Zunächst ist das Phänomen der Fremdbestäubung eine naturgesetzliche Selbstverständlichkeit, die gleichermassen für alle Pflanzen unabhängig von ihrer technischen Herstellung zutrifft. Demzufolge ist die Auskreuzungswahrscheinlichkeit für viele Arten hoch und kann in der Risikobewertung mit der Eintrittswahrscheinlichkeit 1 (= sicheres Eintreten) angenommen werden. Schwieriger ist dann die Bemessung eines Umweltschadens, der sich als Konsequenz der Auskreuzung ergeben könnte. In der EU und anderen Ländern herrscht Konsens darüber, dass Schäden nur in technisch messbaren Einheiten und in Bezug auf definierte Schutzziele zu bewerten sind. Darum ist Auskreuzung allein noch nicht gleichzusetzen mit einem Risiko, denn Auskreuzung kann in der Risikobewertung als Expositionsparameter nur in Verbindung mit unerwünschten Konsequenzen erfasst werden.

weil in den Feldern mehr Unkräuter vorkamen als beim Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen mithilfe spezieller Herbizide. Auch waren im konventionellen

Anbau mehr Samen von Unkräutern zu finden, was für einige Tiere wie zum Beispiel Vögel vorteilhaft ist. Andererseits wurden beim Anbau von GVP mehr Insekten im Boden gezählt. Und der Anbau von gentechnisch

verändertem Mais war mit einem grösseren Vorkommen an Wildtieren und -pflanzen verbunden. Insgesamt bestätigen die britischen Versuche, dass der flexible Einsatz von Herbiziden der ausschlaggebende Faktor für die Umweltwirkung war und nicht der Anbau von GVP an sich.^[4]

Deutschland

In Deutschland wird die Biosicherheitsforschung seit Ende der 1980er-Jahre durch das Forschungsministerium (BMBF) gefördert. Inzwischen wurden über 300 Vorhaben mit mehr als 100 Millionen Euro unterstützt und mithilfe eines Internetportals (www.biosicherheit.de) einer breiten Öffentlichkeit allgemeinverständlich zugänglich gemacht. Besonders intensiv gefördert wurde die Erforschung der Umweltwirkungen von sogenanntem Bt-Mais, der mehrere Gene aus verschiedenen Isolaten des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* (Bt) enthält und darum resistent gegen schädliche Käfer oder Schmetterlinge

ist. Die durchgeführten Einzelprojekte untersuchten über mehrere Jahre die gentechnisch veränderten Mais-Sorten MON810, MON88017, MON89034 und Bt176. Darunter waren sowohl Labor- als auch Freilandversuche in Deutschland.

Das wichtigste Ergebnis dieser Biosicherheitsforschungen: Die vielen Projekte lieferten bisher keine wissenschaftlichen Belege für Umweltschäden, verursacht durch die untersuchten GVP, darunter Mais, aber auch Zuckerrübe, Gerste, Raps, Kartoffel, Weinrebe und Gehölze.

Spanien

Zunächst wurde ab 1998 in Spanien ausschließlich Bt176-Mais der Firma Syngenta, dann ab 2004 vornehmlich der MON810 der Firma Monsanto kommerziell angebaut. Die Anbaufläche von gentechnisch verändertem Mais liegt seit 2007 bei über 80'000 Hektaren. Im Jahr 2011 waren es 97'325 Hektaren, speziell in einigen Provinzen im Nordosten Spaniens, was dort einem Flächenanteil von über 80 Prozent der Maisanbaufläche entspricht. Auf das Land berechnet liegt der Anteil von gentechnisch verändertem Mais bei etwa 26 Prozent an der gesamten Maisfläche.

Von Anfang an hat das spanische Umweltministerium (MARM) Biosicherheitsstudien finanziert, die potenzielle Umweltwirkungen untersuchen. Die Resultate wurden in bislang 31 wissenschaftlichen Publikationen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Eine Dokumentation des MARM^[5] belegt, dass in Spanien

Die britischen Versuche bestätigen, dass der intensive Einsatz von Herbiziden der ausschlaggebende Faktor für unerwünschte Effekte ist und nicht der Anbau von GVP an sich.

auch nach zwölf Jahren kommerziellen Anbaus von Bt-Mais keine negativen Auswirkungen auf Nichtzielarthropoden und Mikroorganismen im Boden festzustellen sind. Bei den bekämpften Schädlingen konnte kein Anstieg der Resistenz gegen das Bt-Toxin festgestellt werden. Die Ergebnisse der bisher mit glyphosattolerantem Mais durchgeführten Studien zeigen, dass Glyphosat die bakteriellen Gemeinschaften in der Wurzelzone von Mais deutlich weniger negativ beeinflusst als andere Herbizide. Diese Befunde bestätigen sich auch in der umfangreichen Literaturstudie des NFP 59.^[6]

Nordamerika

Weltweit am weitesten fortgeschritten ist der Anbau von GVP in Nordamerika, wo zum Beispiel in den USA gentechnisch veränderte Pflanzen zurzeit auf etwa der Hälfte aller Ackerflächen angebaut werden. So betrug der Anteil von GVP im Jahr 2011 bei Mais 88 Prozent, bei Baumwolle 90 Prozent und bei Soja 94 Prozent.

Bereits im Jahr 2008 beauftragte der Nationale Forschungsrat der USA (NRC) ein zehnköpfiges Komitee aus Naturwissenschaftlern, Ökonomen und Soziologen mit der Untersuchung der Folgen des Anbaus von GVP seit seinem Beginn im Jahr 1996. Die entsprechende Studie wurde 2010 veröffentlicht.^[7] Sie liefert eine umfassende

Abschätzung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion mit gentechnisch veränderten Pflanzen. Dem-

nach haben die meisten landwirtschaftlichen Betriebe die Ernteerträge gesteigert oder ihre Produktionskosten gesenkt, zum Beispiel für den Maschineneinsatz oder Pflanzenschutz. Gleichzeitig konnte im

Vergleich zu konventioneller Landwirtschaft die Umweltbelastung verringert werden, zum Beispiel

durch den erhöhten Schutz vor Erosion oder den Verzicht auf insektizide Pflanzenschutzmittel. Vor allem die fast flächendeckend eingesetzte Kombination aus

herbizidtoleranten Sojabohnen und Raps hat bodenschonendere Anbauverfahren ermöglicht. Eine effektivere Unkrautbekämpfung hat zudem pfluglose Bodenbearbeitung gefördert. So stieg beispielsweise auf der Sojaanbaufläche der USA der Anteil an schonender Bodenbearbeitung von 51 Prozent im Jahr 1996 auf 63 Prozent im Jahr 2008. Dies führte zu einer Verbesserung der Qualität und der Wasserhaltefähigkeit der Böden.

Ebenso wurden auf Feldern mit GVP im Vergleich zu konventionellen (nicht biologisch bewirtschafteten) Feldern weniger

Bisher gibt es keine wissenschaftlichen Hinweise darauf, dass zugelassene GVP eine grössere Gefahr darstellen als herkömmliche Pflanzen und Organismen.

In Nordamerika konnte mit dem Anbau von GVP im Vergleich zu konventioneller Landwirtschaft die Umweltbelastung verringert werden.

Pestizide mit Toxizität gegenüber Nicht-zielorganismen oder mit hoher Persistenz in Boden und Wasser angewendet. So nahm zum Beispiel beim Baumwollanbau mit der Einführung von Bt-Sorten die Anzahl der Pestizidbehandlungen zwischen 1996 und 1999 um 1,3 bis

3,4 Spritzungen pro Feld ab. Normal sind 12 bis 15 Spritzungen pro Feld.^[7]

Allerdings steht dem verbesserten Umweltmanagement eine fehlende gute fachliche Praxis der Farmer ge-

genüber, wodurch der übermässige und einseitige Gebrauch bestimmter herbizider Wirkstoffe zu deutlichen Resistenzentwicklungen bei Unkräutern geführt hat – insbesondere gegen Glyphosat.

Erfolgreicher war bisher die Vermeidung beziehungsweise Verzögerung von Schädlingsresistenzen bei Bt-Pflanzen und dem Schädling Maiszünsler – vor allem, wenn Ausweichflächen für empfindliche Schädlinge und Beobachtungsprogramme als vorbeugende Massnahmen geschaffen wurden. Trotzdem nehmen seit 2011 die Resistenzentwicklungen bei einem bestimmten Schädling – dem Maiswurzelboh-

rer – deutlich zu, nicht zuletzt, weil die Landwirte die Prinzipien des Integrierten Pflanzenschutzes zu wenig beachten.

Als weitere negative Folge des Anbaus gentechnisch veränderter Kulturen ist ein beliebter Schmetterling – der Monarchfalter – seltener geworden. Als Grund dafür gilt die erfolgreiche Bekämpfung seiner (Unkraut-)Wirtspflanze in einigen Regionen. Allerdings sind die Daten hierzu widersprüchlich.

Gegenmassnahmen zur Vermeidung solcher unerwünschten Folgen einer landwirtschaftlichen Intensivierung sind gegenwärtig in

Diskussion. Infrage kommen zum Beispiel die Schaffung herbizidfreier Korridore in Randstreifen oder der Anbau von zusätzlichen Futterpflanzen für den Monarchfalter. Ein grundsätzlicher Verzicht auf den Wirkstoff Glyphosat wird gegenwärtig nicht erwogen.

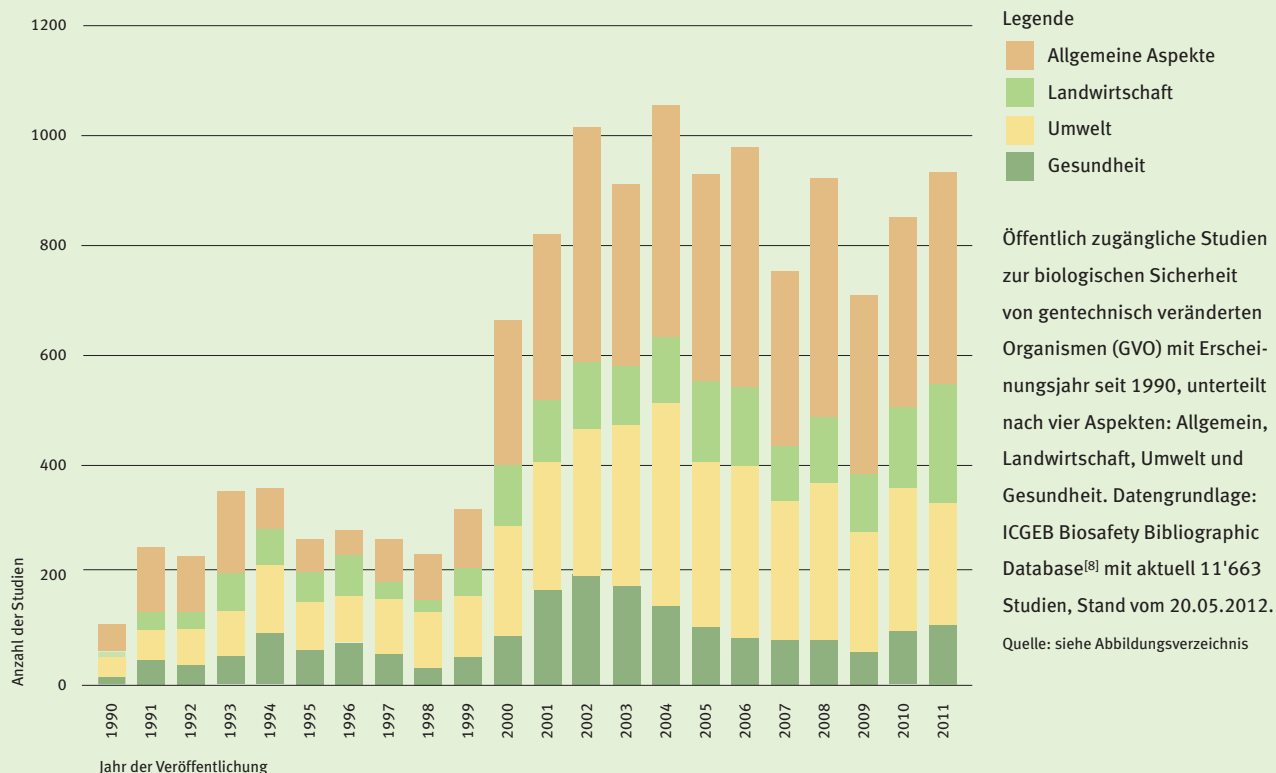
Neben möglichen Umweltwirkungen empfiehlt die NRC-Studie, ökonomische und soziale Folgen in die Beurteilung der Chancen und Risiken von GVP einzubeziehen, weil – wie bei ähnlichen Technologieentwicklungen in der Landwirtschaft – auch bei der Verwendung weiterentwickelter GVP zu erwarten ist, dass

kleine und wirtschaftlich schwächere Betriebe nicht mehr wettbewerbsfähig sein könnten.

Dem verbesserten Umweltmanagement steht eine fehlende gute Praxis der Farmer gegenüber. So hat der übermässige Gebrauch von Herbiziden zu Resistenzen bei Unkräutern geführt.

Neben möglichen Umweltwirkungen sollten auch ökonomische und soziale Folgen in die Beurteilung der Chancen und Risiken von GVP einbezogen werden.

Abbildung 1.2: Studien zur biologischen Sicherheit von GVO



BESTEHENDE DATENGRUNDLAGEN

Die derzeit umfangreichste Datenbank zur Sicherheitsforschung unterhält das unabhängige Internationale Zentrum für Gen- und Biotechnologie (ICGEB). Mehr als 10'000 wissenschaftliche Studien sind derzeit öffentlich recherchierbar. Sie werden monatlich durch ein Team von unabhängigen Wissenschaftlern aktualisiert und klassifiziert. Eine Übersicht gibt

Abbildung 1.2. Auffallend ist, dass GVP nicht nur Gegenstand der Sicherheitsforschung sind, sondern bereits Eingang in die Grundlagenforschung der Evolutions- und Populationsbiologie gefunden haben.

Darunter finden sich auch sehr gentechnikkritische Originalstudien. Zwar stimulieren diese wertvolle wissenschaftliche Debatten, erwiesen sich in der Vergangenheit aber bei genauerer wissenschaftlicher

Betrachtung als zu eingeschränkt, um ihre negativen Schlussfolgerungen zu belegen. Bestenfalls waren sie bisher geeignet, potenzielle Schäden aufzuzeigen. Aber einer genauen Überprüfung hinsichtlich realistischer Eintrittswahrscheinlichkeiten etwaiger Schäden oder der tatsächlichen Exposition von Nichtzielorganismen in der Umwelt hielten sie nicht stand. Ein prominentes Beispiel ist der Fall des Zweipunktmarienkäfers (siehe Box).

Die überwältigende Mehrzahl der Studien legt den Schluss nahe, dass von GVP keine besonderen Risiken ausgehen.

Im Rahmen des NFP 59 wurde auch eine umfassende Literaturstudie mit einer Übersicht über die wichtigsten Erkenntnisse der Biosicherheits- und Koexistenzforschung erarbeitet.^[6] Demnach konnten bei der Auswertung der wissenschaftlichen Literatur von mehr als 20 Jahren Freilandforschung und 15 Jahren praktiziertem kommerziellen Anbau von GVP

insgesamt drei nachteilige Effekte identifiziert werden, die aber alle nicht allein typisch für die Gentechnik sind:

- Entstehen von Resistenzen bei Zielorganismen;
- Schädigung von Nichtzielorganismen;
- Einschränkung der Biodiversität und Entstehung unerwünschter Unkräuter

infolge übermässigen Einsatzes von komplementären Herbiziden bei herbizidtoleranten GVP.

Weitere Effekte von zugelassenen GVO wurden nicht gefunden. Obwohl es in einigen Fällen Berichte über nachteilige Wirkungen auf Tier und Mensch gab, konnten diese Beobachtungen aber einer genaueren kritischen Überprüfung nicht Stand halten.

Einige Laborversuche gaben zwar Anhaltspunkte für schädliche Effekte, sie stellten sich aber in anschliessend durchgeführten Freilandstudien als vernachlässigbar heraus. Eine wichtige Schlussfolgerung daraus ist, dass nachteilige Laboreffekte nicht notwendiger-

weise ins Freiland zu übertragen sind, wo in vielen Fällen wichtigere Faktoren (Klima, Wechselwirkungen mit anderen Organismen) das Umweltverhalten von Nichtzielorganismen bestimmen. Andererseits sollen GVP auch im Freiland mög-

lichst keine unerwünschten Eigenschaften zeigen. Die in einer unabhängigen Studie ausgewerteten Erfahrungen der letzten zehn bis 15 Jahre im grossflächigen Anbau von herbizidtoleranten und Bt produzierenden Pflanzen zeigen, dass nur sehr wenige unerwartete Effekte zu beobachten waren.^[9]

**Gentechnikkritische Studien
stimulieren die wissenschaftliche
Debatte, erwiesen sich in der
Vergangenheit aber oftmals
als eingeschränkt geeignet, um
ihre negativen Schlussfolgerungen
zu belegen.**

Der Zweipunktmarienkäfer – Zum Umgang mit widersprüchlichen Ergebnissen

Im EU-Forschungsprojekt Bt-BioNoTa (Förderperiode Oktober 2000 bis September 2003)^[2] wurden unter anderem Laboruntersuchungen zum Effekt von Bt-Proteinen, wie sie in gentechnisch verändertem Mais vorkommen, auf Larven des Zweipunktmarienkäfers durchgeführt. Die Ergebnisse wurden im Jahr 2009 in einer englischsprachigen Fachzeitschrift publiziert.

In dem Experiment wurden Mehlmotteneier, die als einzige Nahrung für die Versuchstiere dienten, mit verschiedenen konzentrierten Lösungen von Bt-Proteinen [5, 25 und 50 µg/ml] oder mit einer Kontroll-Lösung [0 µg/ml] besprüht. Die Versuchstiere wurden über den gesamten Zeitraum der Larvenentwicklung den Testsubstanzen ausgesetzt.

Die Kontroll-Lösung allein führte zu keinen Effekten. Hingegen wurde für zwei Konzentrationen der Bt-Proteinlösung eine gegenüber der Kontrolle deutliche Zunahme der Sterblichkeit der Versuchstiere in den ersten Larvenstadien festgestellt. Nachteilige Effekte der Bt-Proteine auf die Entwicklungszeit der Larven oder das Gewicht der erwachsenen Tiere wurden nicht beobachtet.

Die Autoren der Studie schlussfolgern, dass die erhöhten Mortalitäten bei dem Zweipunktmarienkäfer ein direkter Effekt der Bt-Proteine sein könnten. Und sie schliessen, dass dieser Befund die Sicherheit von Bt-Proteinen infrage stellt. Allerdings kommen auch die Autoren hinsichtlich der ökologischen Relevanz ihrer Ergebnisse zu dem Schluss, dass Marienkäferlarven in der Natur nur dann potenziell schädlichen Mengen von Bt-Proteinen ausgesetzt sein könnten, wenn sie sich von Bt-Maispollen (direkte Exposition) oder von Beutetieren (zum Beispiel Spinnmilben) ernähren, die Bt-Proteine beim Fressen vom Mais aufnehmen (indirekte Exposition).

Die Ergebnisse dieser Studie wurden in einer Reihe von wissenschaftlichen Veröffentlichungen kritisiert.^[10] Im Mittelpunkt der Kritik stehen einerseits Zweifel am methodischen Vorgehen: insbesondere die Frage, ob die Marienkäferlarven tatsächlich aufgesprühtes Bt-Protein von Mehlmotteneiern aufnehmen. Andererseits werden auch die vorgestellten Ergebnisse angezweifelt, weil keine Dosis-Wirkung-Beziehung zu beobachten war und überlebende Tiere sich völlig normal entwickelt haben. Die Diskussion darüber hielt auch 2012 an.

Wie auch immer solche Laborstudien bewertet werden, eines der wichtigsten Argumente gegen eine mögliche Gefährdung von Marienkäferlarven durch Bt-Proteine ist ihre geringe Exposition unter natürlichen Bedingungen. Marienkäferlarven ernähren sich nämlich vorwiegend von Blattläusen und weitaus weniger von Spinnmilben. Es ist nachgewiesen, dass Blattläuse, die auf Bt-Maispflanzen leben, keine Bt-Proteine aufnehmen und somit auch die Marienkäfer bei Blattlausfrass nicht betroffen sind. Demnach wäre im Freiland eine mögliche Exposition von Marienkäfern nur über die Aufnahme von Maispollen gegeben. Aber auch hier ist aufgrund der geringen Konzentration des Bt-Proteins im Pollen ein schädlicher Effekt auf Marienkäferlarven nicht zu erwarten.

In dieses Gesamtbild passt, dass zahlreiche andere Labor- und Freilandstudien keine Wirkung der Bt-Proteine auf den Zweipunktmarienkäfer und andere Marienkäferarten fanden.

Das Beispiel Zweipunktmarienkäfer zeigt, dass widersprüchliche Informationen sorgfältig und unabhängig nachgeprüft werden müssen.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

1. Allgemeine Umweltprobleme der Landwirtschaft, wie Monokulturen und Resistenzentwicklungen sowie auch sozioökonomische Komplikationen bei Sonderkulturen können durch GVP verstärkt oder vermindert werden, sie sind aber nicht allein durch die Gentechnik ausgelöst. Darum sollten spezifische Regulierungen zur Einführung von GVP in der Schweizer Landwirtschaft derart ausgestaltet sein, dass die Technologie ihren potenziellen Beitrag zur nachhaltigen Landwirtschaft leisten kann, ohne sekundäre nachteilige Effekte hervorzurufen.
2. Bei den kommerziell zugelassenen GVP wurden keine gentechnik-spezifischen Risiken festgestellt. Ihre landwirtschaftlichen Auswirkungen bewegen sich im gleichen Rahmen wie die von nicht gentechnisch veränderten Kulturpflanzen. Darum sind für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit von GVP als Vergleichsbasis die konventionellen Sorten und landwirtschaftlichen Praktiken inklusive der dort auftretenden Schwankungen zu berücksichtigen.

ENDNOTEN

- ¹ Eine Übersicht über solche Ergebnisse bietet auch seit dem Jahr 2000 die Internationale Gesellschaft für Biosicherheitsforschung mit einer Fachzeitschrift und fördert mit regelmässigen Konferenzen den öffentlichen Austausch zwischen wissenschaftlichen Forschungsinstituten, Industrie und Behörden.
<http://www.isbr.info>
- ² Das ist die Methode, bei der mit einer «Genkanone» DNA-Abschnitte auf kleine Gold- oder Platinkugeln aufgebracht und unter hohem Druck in Zellen geschossen werden.
- ³ IAASTD 2010: Zusammenfassung des Berichts des Weltagrarrats zum Thema Biotechnologie, einschliesslich Gentechnik. «Bei einem problemorientierten Ansatz für Forschung und Entwicklung im Bereich Biotechnologie würden sich die Investitionen auf die Schwerpunkte konzentrieren, die vor Ort durch transparente, partizipatorische Prozesse bestimmt werden. Multifunktionale Lösungsansätze für lokale Probleme würden bevorzugt. Hierbei ist es erforderlich, der Öffentlichkeit auf innovative Art Unterstützung zu bieten, damit sie sich kritisch an der Bewertung der technischen, sozialen, politischen, kulturellen, geschlechtsspezifischen, rechtlichen, ökologischen und wirtschaftlichen Auswirkungen moderner Biotechnologie beteiligen kann. Biotechnologie sollte eingesetzt werden, um lokales Fachwissen und Genressourcen zu erhalten, sodass weiterführende Forschung vor Ort betrieben werden kann. Auf diese Weise würden partizipatorische Zuchtprojekte und Agrarökologie zu einem Schwerpunkt, was dringend geboten ist.» Übersetzung durch Diplomübersetzer Thomas Santelmann im Auftrag des Sprachendienstes des Deutschen Bundestages.

LITERATUR

- [1] Haber, W. (2009) Die unbequemen Wahrheiten der Ökologie – Eine Nachhaltigkeitsperspektive für das 21. Jahrhundert. Rat für Nachhaltige Entwicklung (Hrsg.) Carl-von-Carlowitz-Reihe Band 1. München: Oekom Verlag, 1-69.
- [2] EU Commission (2010) A decade of EU-funded GMO research (2001-2010). Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2010.
- [3] EC-sponsored research on the Safety of Genetically Modified Organisms (1985-2000), Website über die von der EG unterstützten Forschungsarbeiten zur Sicherheit genetisch veränderter Organismen: <http://ec.europa.eu>
- [4] Champion, G. (2011) Lessons learned from the farm scale evaluation of GMHT crops. J Verbrauch Lebensm 6, Supplement 1, 73-78.
- [5] MARM - Ministerio de Medioambiente, y Medio Rural y Marino (2010) Planes de Seguimiento Ambiental del Cultivo de Maiz Modificado Genéticamente en España Madrid, 2010. 72 pp.
- [6] Sweet, J. and Bartsch, D. (2012). Synthesis and Overview Studies to Evaluate Existing Research and Knowledge on Biological Issues on GM Plants of Relevance to Swiss Environments. vdf, Zürich 2012.
- [7] NRC (2010) Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States. National Academic Press, Washington D.C. 2010, 270 pp.
- [8] ICGEB (2012) Bibliosafety - The Biosafety Bibliographic Database.
<http://bibliosafety.icgeb.org/>
- [9] Van den Brink, L., Bus, C. B., Franke, A. C., Groten, J. A. M., Lotz, L. A. P., Timmer, R. D., van de Wiel, C. C. M. (2010) Inventory of observed unexpected environmental effects of genetically modified crops. Appl Plant Res CGM 2010-08, PPO no. 3250165700.
- [10] ZKBS (2011) Stellungnahme der Zentralen Kommission für die Biologische Sicherheit zu neueren wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Risikoabschätzung der Maislinie MON810. Online-Dokument : <http://www.bvl.bund.de>

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

1.2 Schutzziele und Risikobewertung

Gegenüber gentechnisch veränderten Organismen und Pflanzen als Lebensmittel – wie generell gegenüber der Gentechnologie im nicht medizinischen Bereich – herrschen in weiten Teilen der Bevölkerung Skepsis bis hin zu strikter Ablehnung. Dies gilt für grosse Teile des europäischen Raums und insbesondere für die Schweiz. Entsprechend hoch sind die Erwartungen der Gesellschaft an die zuständigen Behörden, bei der Zulassung gentechnisch veränderter Produkte Gefahren zu vermeiden – bei Lebensmitteln im Vergleich zu anderen Bereichen wohl besonders.

JOACHIM FREY

GESETZLICHE VORGABEN

Der Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen wird in der Schweiz durch das Gentechnikgesetz (GTG)^[1] und die Freisetzungsverordnung (FrSV)^[2] geregelt. Der Zweck dieser beiden Regelwerke ist, Menschen, Tiere und die Umwelt zu schützen, ihre Gesundheit und Sicherheit sicherzustellen, die biologische Vielfalt und die Fruchtbarkeit des Bodens dauerhaft zu erhalten, die Achtung der Würde der Kreatur zu gewährleisten und die Wahlfreiheit der Konsumenten zu ermöglichen.

Zur Umsetzung der im GTG festgelegten Ziele sind gentechnisch veränderte Organismen (GVO) und speziell gentechnisch veränderte Pflanzen (GVP) vor einer Zulassung zum Gebrauch und insbesondere vor einer Freisetzung einer Risikobewertung zu unterziehen, die sich auf wissenschaftliche Erkenntnisse in Bezug auf Daten, Analysemethoden und Abschätzungen respektive Annahmen stützen. Die gesetzlichen Vorgaben (GTG und FrSV) umschreiben zwar die Schutzziele. Nicht spezifisch beschrieben sind hingegen die Methoden der Risikobewertung; sie müssen deshalb transparent dargelegt werden und alle Schutzziele berücksichtigen. Die Risikobewertung muss verständlich und nachvollziehbar sein sowie auf einer harmonisierten Bewertungsterminologie und vorzugsweise international anerkannten Standards beruhen. Bei der Risikobewertung wird von den zuständigen Behörden eine umfassende Beschreibung der

Fachkommission für Biologische Sicherheit

In der Schweiz hat die Eidgenössische Fachkommission für Biologische Sicherheit (EFBS) als ständige Verwaltungskommission des Bundes die Aufgabe, den Bundesrat, die Bundesämter sowie die kantonalen Behörden in Fragen biologischer Sicherheit zu beraten. Die EFBS gibt Stellungnahmen ab zu Bewilligungsgesuchen für Tätigkeiten mit Organismen in geschlossenen und offenen Systemen (Freisetzungen), veröffentlicht Empfehlungen für den Umgang mit gentechnisch veränderten oder pathogenen Organismen und beteiligt sich an der Vorbereitung von Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen.^[3]

Die EFBS stützt sich bei Risikoabschätzungen primär auf die Dokumentation der Antragsteller sowie auf Studien unabhängiger Drittinstitutionen, die in verlässlichen Publikationsorganen veröffentlicht wurden. Als nützliche Richtlinien gelten nebst den schweizerischen Gesetzen und Verordnungen hauptsächlich europäische Regelwerke wie zum Beispiel die Wegleitung zur Umweltrisikobewertung von GVP^[4] sowie die Forschung der schweizerischen Hoch- und Fachhochschulen.

berücksichtigten Daten sowie der Versuchs- und/oder Umgebungsbedingungen verlangt. Bei Schlussfolgerungen, die auf quantitativen Bewertungen beruhen, muss jedes Element der Argumentation, der Berechnung und jedes mathematische Modell angegeben und begründet werden. Mit jeder wissenschaftlichen Erkenntnis sind die Unsicherheiten, die in den verschiedenen Phasen der Risikobewertung aufgetreten und berücksichtigt worden sind, zu beschreiben. Ihre Bedeutung für das Bewertungsergebnis, welches von den Schutzziele abhängig ist, ist anzugeben.

SCHUTZZIELE

Primäre Schutzziele sind die Endverbraucher, das heisst der Mensch oder die betreffenden Nutztiere, die in direkten oder indirekten Kontakt mit gentechnisch veränderten Nutzpflanzen kommen. In den allgemeinen Bestimmungen des GTG werden unter Einbezug der Umwelt auch die erweiterten Schutzziele klar umschrieben: Bei der Freisetzung von GVP sollen die Gesundheit und die Sicherheit des Menschen, der Tiere und der Umwelt geschützt sowie die biologische Vielfalt und die Fruchtbarkeit des Bodens dauerhaft erhalten werden (Art. 1 GTG). Bei der Freisetzung von GVP, im Gegensatz zum einfachen Verbrauch, ist damit nicht nur das Risiko für den Endverbraucher zu evaluieren, sondern es sind auch direkt und indirekt Beteiligte wie Tiere, Pflanzen, Mikroorganismen und die unbelebte Natur, besonders die Fruchtbarkeit der Böden, in die Risikobewertung mit einzubeziehen.

RISIKOBEWERTUNG

Im NFP 59 wurden zwei Forschungsvorhaben zu normativen Fragen der Risikobewertung durchgeführt: Was ist ein Schaden? Und wie wird ein Schaden in Bezug auf das Schutzziel bewertet?

Im Projekt *Grundlagen für Schutzziele beim Umgang mit gentechnisch veränderten Pflanzen* ging es primär um die Bewertung des Ausmasses möglicher schädlicher oder lästiger Einwirkungen

durch GVP und die Möglichkeit eines Vergleiches unterschiedlicher Einwirkungen hinsichtlich des Schadensausmasses. Solche Informationen sind unter anderem Grundlage für die Beurteilung der Angemessenheit von Massnahmen im Schadensfall. Im Projekt *Bewertung von Umwelteffekten gentechnisch veränderter Pflanzen* wurde das Risiko, das von GVP ausgeht, im Vergleich zu Risiken, die von konventionellen Sorten und Anbaumethoden ausgehen, bewertet.

Demnach kann ein Schaden entweder über festgelegte Schwellenwerte oder einen analytischen Vergleich definiert werden. Standard in den westlichen Industrienationen ist der analytische Vergleich zwischen der gentechnisch veränderten Kulturpflanze und ihrem konventionellen Gegenstück: Beispielsweise ist zu klären, ob gentechnisch veränderter Raps ebenso unbedenklich ist wie Raps aus konventioneller Zucht. Internationale Erfahrungen zeigen, dass insbesondere ökologische Schwellenwerte in der Praxis schwierig anwendbar und für Risikoprognosen wenig hilfreich sind. Oft ist es erst nachträglich möglich, einen Schaden mithilfe genau festgelegter Schwellenwerte zu erfassen. Dabei ist zu bemerken, dass die bisher angewandten weltweit durchgeführten Studien keine Hinweise auf Risiken feststellen konnten, die speziell von GVP herrühren.^{[5][6]} Behördliche Entscheidungen, die zu einer Zulassung von GVP führen, folgen deshalb meist der vergleichenden Risikobewertung.

RISIKOABSCHÄTZUNG

Die Risikoabschätzung von GVP und GVO im Allgemeinen muss gemäss gesetzlicher Vorgabe stufenweise unter Berücksichtigung folgender Bereiche durchgeführt werden:

1. Primärverbraucher der betreffenden Lebens- und Futtermittel (Mensch und Tier);
2. Zielorganismen (im Fall von Veränderungen zum Zweck des Pflanzenschutzes);
3. Nichtzielorganismen;
4. Verbreitung der GVP über den Anpflanzungsraum hinweg;
5. Anbau- und Erntetechniken;
6. Möglicher Genfluss auf Drittorganismen.

Bei der Risikoabschätzung ist primär zwischen der Zulassung als Lebens- oder Futtermittel und der Freisetzung zu unterscheiden.

Zulassung

Bei der Zulassung gentechnisch veränderter Produkte als Lebens- oder Futtermittel steht der Schutz der menschlichen und tierischen Gesundheit im Vordergrund. Hier betrifft die Risikobewertung den Primärverbraucher mit dem Fokus auf Lebensmittelsicherheit. Lebensmittel, die aus GVP gewonnen werden, müssen im Prinzip als Endprodukt bis auf die Eigenschaft, welche durch die gentechnische Veränderung eingebracht wurde, die gleiche Zusammensetzung haben wie

analoge nicht gentechnisch veränderte Produkte. Man spricht von der substantiellen Äquivalenz.

Die eingebrachte Eigenschaft darf die Gesundheit der Menschen, respektive Tiere, nicht beeinträchtigen und keine Langzeitschädigungen hervorrufen. Die eingebrachten Veränderungen haben entweder das Ziel, den Nähr- oder Gesundheitswert des betreffenden Lebensmittels zu verbessern, oder sie dienen dem Pflanzenschutz oder der erhöhten Wachstumsleistung der Pflanze.

- Ein Beispiel für eine Verbesserung des Nähr- oder Gesundheitswertes ist der «Golden Rice», welcher deutlich mehr Provitamin A und gebundenes Eisen enthält.^[7] Hier fällt die Risikobewertung primär in den Bereich der Ernährungswissenschaft.
- Wenn die gentechnische Veränderung dem Pflanzenschutz oder der erhöhten Wachstumsleistung dienen soll, stehen eingehende Studien zur Verträglichkeit der neu eingebrachten Eigenschaften unter Berücksichtigung der Konzentration im Endprodukt im Vordergrund. Ein Beispiel hierfür ist der sogenannte Bt-Mais, in den das δ -Toxin (Bt-Toxin) des Bakteriums *Bacillus thuringiensis* zum Schutz gegen den Maiszünsler eingebracht wurde.

In allen Fällen sind Analysen zur Stabilität der genetischen Konstruktion notwendig, um auszuschliessen, dass durch die genetische Veränderung oder während

des Prozesses der Auskreuzung andere Eigenschaften wie neue Allergene oder ungesunde Metaboliten induziert wurden. Letzteres gehört auch zur Sorgfaltspflicht bei der klassischen Zucht und Selektion von Nutzpflanzen durch Kreuzung oder durch radioaktive oder chemische Mutagenese. Hier ist zu bemerken, dass viele der heutigen als «natürlich» bezeichneten Nutzpflanzen durch radioaktive oder chemische Mutagenese erzeugt wurden, die bedeutend grössere und meist unbekannte genetische Änderungen einbrachten als gentechnische Methoden, insbesondere die neuen Methoden^[8] (siehe Kapitel 4.3).

Genetische Stabilität oder Variabilität muss auch vor dem Hintergrund gesehen werden, dass viele der heute als Lebensmittel genutzten Pflanzensorten aus ursprünglich für den Menschen ungesunden oder gefährlichen Varietäten gezüchtet wurden. Aus Sicht der biologischen Sicherheit und insbesondere der Lebensmittelsicherheit muss primär gewährleistet werden, dass neue Pflanzensorten die genetische Stabilität aufweisen, welche sicherstellt, dass die Nutzpflanze, falls sie zum Beispiel aus einer ungeniessbaren Urpflanze gezüchtet wurde, auf keinen Fall unbemerkt zu einer ungeniessbaren Varietät rückmutiert. Folglich sind bei einer Risikoabschätzung

und Risikobewertung gentechnische Methoden den klassischen chemischen und radioaktiven vorzuziehen, da die eingebrachten genetischen Merkmale und deren Stabilität bei gentechnischen Veränderungen weitaus besser bekannt sind als bei den klassischen Methoden.

Analysen sind notwendig, um auszuschliessen, dass durch die genetische Veränderung oder die Auskreuzung unerwünschte Eigenschaften induziert wurden.

Die für die Sicherheit relevante Frage lautet also nicht: «Ist eine Pflanze gentechnisch verändert oder nicht?», sondern: «Ist ihre genetische Beschaffenheit für die geforderten Bestimmungen sicher und

stabil?». Deshalb ist die für eine Zulassung in der EU und in der Schweiz verlangte Bezeichnungspflicht von Produkten als GVO aus Sicht der biologischen Sicherheit nicht relevant. Sie ist zwar aufgrund der gesetzlich verankerten Aufklärungspflicht über den Ursprung vorgeschrieben, wird aber weniger aus Sicherheitsüberlegungen als zur Konsumenteninformation und zu Marketingzwecken benutzt.

Freisetzung

Bei der Risikobewertung im Rahmen der Freisetzung von GVP stehen umweltrelevante Kriterien im Vordergrund. Dabei sind die Bewertungen fallspezifisch und von der jeweiligen Umwelt abhängig, da direkte Interaktionen der GVP mit der lebenden und toten Umwelt sowie der Genfluss im Zusammenhang mit den sich

in der näheren Umgebung befindlichen Lebewesen zu evaluieren sind. Zu berücksichtigen sind die Bereiche:

1. **Zielorganismen**;
2. **Nichtzielorganismen**;
3. **Invasionspotenzial** von GVP durch Verbreitungsvorteile ausserhalb des Anpflanzungsraumes;
4. Mögliche **direkte und indirekte Beeinträchtigung** des Anbaus und der Ausbeute von anderen Pflanzen;
5. Auswirkungen des möglichen **Genflusses** auf Drittorganismen.

Für jeden dieser Punkte sind Daten zur molekularen und genetischen Charakterisierung der gentechnisch veränderten Sorte, zu Inhaltsstoffen, zu phänotypischen Merkmalen der GVP unter Freilandbedingungen, zu Kulturbedingungen und Interaktionen der GVP mit der Umwelt (zum Beispiel mit Ziel- oder Nichtzielorganismen) in eine zusammenfassende Risikobewertung einzubeziehen und das mögliche Schadensmass und dessen Eintrittswahrscheinlichkeit abzuschätzen. Dies ist meistens nur durch den Einbezug von Vergleichspflanzen oder Vergleichstechniken möglich.

Die Evaluation des Schadenpotenzials sei hier für die verschiedenen oben aufgeführten Bereiche erörtert:

1. Bei **Zielorganismen** ist die Resistenzbildung von Schädlingen gegenüber der GVP zu nennen. Auf Grund der hohen Anpassungsfähigkeit von Organismen – in diesem Fall die Schädlinge – an ihre

Umwelt ist auch bei GVP mit resistenten Schädlingen zu rechnen. Hierfür kann die Eintrittswahrscheinlichkeit im Labor ermittelt werden, muss aber schliesslich in Feldversuchen bestätigt werden. Sie hängt von der Beschaffenheit der gentechnisch eingebrachten Eigenschaft, wie das Bt-Toxin bei Mais oder die Mehltaresistenz bei Weizen sowie von der Anbaufläche und Anbaudichte der GVP ab. Zur Abschätzung des Risikos muss das potenzielle Schadensmass im Vergleich zu konventionellen Pflanzenschutzmassnahmen beurteilt werden. So wären zum Beispiel Maiszünsler, die aufgrund von Grossanbau von Bt-Mais gegen das Bt-Toxin resistent sind, gegenüber chemischen Pflanzenschutzmassnahmen als vernachlässigbares Schadensmass zu beurteilen, da der chemische und der biologische (Bt) Pflanzenschutz unabhängig voneinander wirken. Hingegen sind Bt-Toxin-Schädlinge bei Einsatz von biologischen Bekämpfungs-Massnahmen mit *Bacillus thuringensis* problematisch, da Letztere auf dem gleichen Abwehrmechanismus, dem Bt-Toxin, beruhen. Um das Schadensmass der Bt-Resistenzbildung von Maiszünslern abzuschätzen, muss jedoch ermittelt werden, ob bei gleicher Schutzwirkung die Resistenzbildung bei GVP gegenüber der konventionellen Methode häufiger oder seltener ist.

2. Bei **Nichtzielorganismen** müssen die Eintrittswahrscheinlichkeit sowie das Schadensmass unter realen Bedingungen, das heisst Freilandbedingungen, evaluiert werden. Dabei sind Grundlagenkenntnisse

über die Wirkungen der toxischen Merkmale, welche den GVP eingebracht wurden, auf Nichtzielorganismen wie zum Beispiel Schmetterlinge und Nützlinge notwendig.

Gewisse Nichtzielorganismen reagieren aufgrund ihrer Ähnlichkeit mit Schädlingen empfindlich auf Toxine, die zum Zweck des Pflanzenschutzes in den GVP enthalten sind. Allerdings müssen auch die Ernährungsgewohnheiten die-

ser Nichtzielorganismen in die Evaluation mit einbezogen werden, wie dies im Bezug auf den Zweipunktmarienkäfer dargestellt ist (siehe Kapitel 1.1, Box: Zweipunktmarienkäfer). Zu-

dem sollte bei der Risikoabschätzung auch der potenzielle Nutzen von schädlingsresistenten GVP in die Risikoevaluation einbezogen werden. Zum Beispiel kann dank GVP der Insektizideinsatz reduziert werden, was den Nichtzielorganismen zugutekommt. Gesamthaft drängt sich also auch hier der Vergleich zwischen GVP und den konventionellen Anbaumethoden auf.

3./4. Das **Invasionspotenzial** von GVP ausserhalb des Anpflanzungsraumes und damit verbunden die mögliche **direkte und indirekte Beeinträchtigung** des Anbaus und der Ausbeute anderer Pflanzen sind weitere wichtige umweltrelevante Aspekte in der Risikoabschätzung. GVP wie auch klassisch gezüchtete Nutzpflanzen werden primär genetisch so verändert, dass sie sich

unter Anbaubedingungen möglichst gut entwickeln und gegenüber anderen Pflanzen, insbesondere gegenüber Unkraut, einen Wachstumsvorteil haben. Deshalb können sie sich auch in anderen Anbau-feldern oder ausserhalb des Kulturlandes durchsetzen, wie dies in Zusammenhang mit Raps diskutiert wurde (siehe Box). Zu betonen ist, dass dieses potenzielle Risiko keine spezielle Eigenschaft gentechnisch veränderter Pflanzen ist.

5. Die Auswirkungen des möglichen **Genflusses** auf Drittorganismen sind ein schwierig zu evaluierender Risikobereich. Organismen verändern sich ständig durch Mutationen und

Austausch von Genstücken mit anderen Organismen, um sich der Umwelt anzupassen. Dadurch können GVP ihr genetisches Material und dabei auch die gentechnisch eingebrachten Merkmale an Drittorganismen weitergeben. Dabei variiert die Eintrittswahrscheinlichkeit der Auskreuzung je nach Beschaffenheit der Gene, dem lokal wirkenden Selektionsdruck und dem Verwandtschaftsgrad der beteiligten Pflanzen. Viel schwieriger als die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit eines Gentransfers auf Drittorganismen ist die Beantwortung der Frage, ob durch einen Gentransfer von einer GVP auf eine natürliche oder konventionell gezüchtete Empfängerpflanze ein Schaden eintritt und wie hoch das Schadensmass anzusetzen ist.

Zur Abschätzung des Risikos muss das potenzielle Schadensmass im Vergleich zu konventionellen Pflanzenschutzmassnahmen beurteilt werden.

Vergleichende Risikobewertung: Doppelnull- und gentechnisch veränderter Raps

Alte Rapssorten enthalten grosse Mengen von Erucasäure (cis-13-Docosensäure), welche ernährungstechnisch problematisch ist, da sie zu schweren Herzkrankheiten führt. Deshalb konnte Raps früher nicht zur Herstellung von Speiseöl verwendet werden.

Erst die Züchtung von erucasäurefreien Rapssorten wie dem Doppelnull-Raps (0/0) erlaubt es heute, Rapsöl als hochwertiges Lebensmittel zu nutzen. Obwohl dieser 0/0-Raps in der öffentlichen Diskussion immer wieder mit gentechnisch verändertem Raps verwechselt wird, ist er durch klassische Züchtung entstanden.

Bei dem zum Anbau in einigen Ländern zugelassenen gentechnisch veränderten Raps handelt es sich hauptsächlich um herbizidtolerante 0/0-Sorten. Sie werden in Nordamerika beinahe flächendeckend angebaut. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass konventioneller Raps mit gentechnisch verändertem Raps vermengt wird.

Gemäss Artikel 6a der Verordnung über gentechnisch veränderte Lebensmittel (VGVL) können Spuren gentechnisch veränderter Organismen bis zu einem maximalen Anteil von 0,5 Prozent toleriert werden. Dadurch wird zwar die Deklaration bezüglich GVP in Lebensmitteln über einen Maximalwert geregelt. Dieser Grenzwert bezieht sich jedoch nicht auf einen Schadenfaktor, da gentechnisch veränderter Raps für den Konsumenten gleich sicher ist wie konventioneller 0/0-Raps. Aus volksgesundheitlicher Sicht ist die Sortenreinheit betreffend der Freiheit von schädlichen Substanzen wie Erucasäure, welche in alten Sorten vorkommt, bedeutend wichtiger.

Bei der Freisetzung müssen andere Aspekte berücksichtigt werden: Gentechnisch veränderter Raps kann wie konventioneller Raps Durchwuchsraps (das heisst Raps, welcher nach der Ernte auf dem Ackerfeld oder ausserhalb der Ackerfelder unkontrolliert weiterwächst) verursachen. Zudem kann er die Herbizidtoleranz auf Drittpflanzen auskreuzen. Dies kann Schäden verursachen, wenn Herbizide im Ackerbau genutzt werden. In Gebieten, in denen gentechnisch veränderter Raps und konventioneller Raps zusammen angebaut werden, führt dies zu oben genannten Problemen. Das eigentliche Schadensmass muss allerdings gesamthaft, unter Einbezug der Anbaumethoden, evaluiert werden und kann durch ein geeignetes Risikomanagement in verschiedensten Fällen auf ein tolerierbares und mit konventionellen Sorten vergleichbares Mass reduziert werden. Da die Problematik des Durchwuchsrapses schon seit der Einführung von konventionellem 0/0-Raps bekannt ist, kann er als Risikomodell für gentechnisch veränderten Raps dienen.

RISIKOMANAGEMENT

Risikoabschätzungen haben nur im Zusammenhang mit Konzepten für ein Risikomanagement einen Nutzen. Risikomanagement bedeutet, Massnahmen zu planen und zu treffen, um bekannte Risiken zu minimieren und noch unbekannte durch Monitoring möglichst früh zu erkennen. Dabei sind folgende Fragen zu stellen:

- Wie wird generell mit Risiken, die vom Anbau von Kulturpflanzen ausgehen, umgegangen und welche Methoden wurden bis anhin zum Management solcher Risiken angewendet?
- Wie werden potenziell neue oder veränderte Risiken, welche sich durch den Anbau von GVP ergeben, im Vergleich zu klassischen Kulturpflanzen abgeschätzt und gehandhabt?
- Welche Risiken neuer Technologien sind tragbar im Vergleich zu ihrem Nutzen?
- Welche neuen Möglichkeiten bietet die Gentechnologie selbst zur Handhabung respektive zur Eindämmung solcher Risiken?

Während in den letzten 25 Jahren umfassende Forschungsarbeiten zur Umweltsicherheit von gentechnisch veränderten Pflanzen durchgeführt worden

sind, beschränkten sich die Studien von klassischen Kulturpflanzen meist auf Lebensmittelsicherheit oder Ertragsoptimierung. Dies führte dazu, dass sich oft erst nachträglich feststellen liess, ob eine neue Sorte Veränderungen oder Schäden in der Umwelt verursacht.

Bei einem umfassenden Risikomanagement sind deshalb indirekte Schäden, welche durch eine Freisetzung von neuen

Sorten oder Sortenlinien entstehen können, im Vergleich mit den Auswirkungen, welche klassische Sorten bewirken, vorgängig abzuschätzen. Als Beispiel dafür kann die Problematik des Feuerbrandes, eine bakteriell übertragba-

re Erkrankung der Apfelbäume, welche in der Nordostschweiz grosse Schäden verursacht, dienen. Zurzeit werden die Obstkulturen zur Bekämpfung dieser Pflanzenpest mit dem Antibiotikum Streptomycin besprüht. Dies ist allerdings in Anbetracht der schwerwiegenden Problematik der Übertragung von Antibiotikaresistenzen auf humane und tierische Krankheitserreger selbst auch mit Risiken verbunden.

Im Rahmen des Projektes Schorfresistente Äpfel wurde in Bezug auf eine Freisetzung von cisgenen Apfelsorten (siehe Kapitel 1.3) ermittelt, ob die cisgenen schorfresistenten Apfelsorten womöglich besonders anfällig auf Feuerbrand sind. Die Forschenden wollten

Da sich Risikostudien von klassischen Kulturpflanzen meist auf Lebensmittelsicherheit konzentrierten, war erst nachträglich festzustellen, ob eine neue Sorte Umweltschäden verursacht.

Abbildung 1.3: Risiko der Ausbreitung im Kulturland



Die unkontrollierte Verbreitung ist keine spezifische Eigenschaft gentechnisch veränderter Pflanzen an sich, sondern hängt vom Verbreitungsmechanismus der jeweiligen Pflanzenart ab. Deshalb dient konventioneller Raps als Risikomodell für die Ausbreitung von gentechnisch verändertem Raps. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

ausschliessen, dass die neue Sortenlinie dem Feuerbranderreger zur Vermehrung dienen könnte, wie dies zurzeit mehrere konventionelle Apfelsorten machen. Die Autoren des NFP-59-Projektes haben deshalb die betreffenden schorffresistenten Sortenlinien auch auf ihre Empfindlichkeit gegenüber dem Feuerbranderreger (*Erwinia amylovora*) getestet. Das Resultat zeigt, dass die genetische Modifikation zur Erreichung der Schorffresistenz keinen Einfluss auf die Empfänglichkeit für Feuerbrand zeigt.^[9] Also würde sich eine

solche Linie im Risikomanagement in Gebieten mit Feuerbrand neutral verhalten.

In einem weiteren Schritt zeigte das Projekt Schorffresistente Äpfel, wie die Cisgenese-Technologie direkt zur Bekämpfung von Feuerbrand eingesetzt werden kann.

Die Forschenden kommen zum Schluss, dass aufgrund des medizinischen Risikos, welche der Antibiotikaeinsatz in der Landwirtschaft darstellt, der Einsatz von erprobten gentechnisch erzeugten, feuerbrandresistenten cisgenen Sortenlinien dem Einsatz von Streptomycin vorzuziehen ist.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

1. Nach heutigem Stand des Wissens sind keine der Gentechnik innewohnende Risiken auszumachen. Darum soll die Risikobewertung bei der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) fallspezifisch erfolgen und sich auf die individuellen Gegebenheiten der jeweiligen Pflanzen und ihrer Umwelt ausrichten.
2. Zur Evaluation eines Schadenpotenzials von GVP für Nichtzielorganismen müssen die Eintrittswahrscheinlichkeit sowie das mögliche Schadensmass unter realen Bedingungen evaluiert werden.
3. Jede landwirtschaftliche Betriebsform hat Auswirkungen auf die Umwelt. Dies trifft für konventionelle und biologische Anbauformen genauso zu wie für eine Landwirtschaft, die gentechnisch veränderte Pflanzen nutzt. Darum sollten bei der Beurteilung von Nutzen und Risiken gentechnisch veränderter Pflanzen für die Schweizer Landwirtschaft die verschiedenen Bewirtschaftungsformen als Gesamtsystem verglichen werden. Wichtig ist dabei die vorgängige Definition der Bezugswerte (Baseline), anhand derer die Evaluation erfolgen soll.

LITERATUR

- [1] Schweizerische Bundesverwaltung (2003) Bundesgesetz vom 21. März 2003 über die Gentechnik im Ausserhumanbereich (Gentechnikgesetz, GTG), SR 814.91.
- [2] Schweizerische Bundesverwaltung (2008) Verordnung vom 10. September 2008 über den Umgang mit Organismen in der Umwelt (Freisetzungsverordnung, FrSV) SR 814.911.
- [3] Schweizerische Bundesverwaltung (1996) Verordnung vom 20. November 1996 über die Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit, SR 172.327.8.
- [4] European Food Safety Authority (2010) Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants, EFSA Journal
- [5] European Commission (2010) A decade of EU-funded GMO research. (2001-2010) Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2010.
- [6] Sanvido, I., Romeis, J., Bigler, F. (2007) Ecological impacts of genetically modified crops: ten years of field research and commercial cultivation. Adv Biochem Eng Biot 107, 235-278.
- [7] Potrykus, I. (2001) Golden rice and beyond. Plant Physiol 125, 1157-1161.
- [8] Vainstein, A., Marton, I., Zucker, A., Danziger, M, Tzfira, T. (2011) Permanent genome modifications in plant cells by transient viral vectors. Trends Biotechnol 29, 363-369.
- [9] Vanblaere, T., Szankowski, I., Schaart, J., Schouten, H., Flachowsky, H., Broggini G. A. L., Gessler, C. (2011) The development of a cisgenic apple plant. J Biotechnol 154, 304-311.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

1.3 Eigenschaften gentechnisch veränderter Pflanzen

Landwirtschaftliche Nutzpflanzen – ob gentechnisch verändert oder nicht – müssen sich im Freien unter wechselnden Umweltbedingungen bewähren. Deshalb ist es wichtig, in Freilandversuchen abzuklären, wie gut sich erwünschte Eigenschaften durchsetzen, ob Nebeneffekte auftreten und wie die Pflanzen auf ihre Umwelt reagieren. Schliesslich geht es auch darum, eine mögliche Auskreuzung zu verhindern oder zumindest zu minimieren, da eine solche das ökologische Verhalten von Wildpflanzen verändern oder die Koexistenz mit nicht transgenen Nutzpflanzen beeinträchtigen kann.

DANIEL SCHÜMPERLI

PILZRESISTENZEN IM FOKUS VON WISSENSCHAFT UND LANDWIRTSCHAFT

Weltweit sind in der kommerziellen Anwendung von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) die Merkmale Herbizid- und Insektenresistenz am weitesten verbreitet. Auch Virusresistenzen kommen bereits zur Anwendung.^[1]

Noch weniger weit ist die Erforschung und Entwicklung von Pilzresistenzen gediehen, obschon Pilze global riesige Ertragsverluste verursachen. Liessen sich diese Verluste ganz

verhindern – was sicher eine Illusion ist –, so könnte die Ernährungssituation erheblich verbessert oder, nach Ansicht einiger Experten, gar der globale Nahrungsbedarf gedeckt werden.^[2] Zudem könnte die Umnutzung natürlicher Böden zugunsten der Landwirtschaft reduziert und der Einsatz umweltschädigender Chemikalien reduziert werden.

Pflanzen können die Anwesenheit von Pilzen und Bakterien aufgrund von Molekülen erkennen, die in diesen Organismen selbst wichtige Funktionen ausüben. Dies führt zwar zu einer gewissen Resistenz, die aber in der landwirtschaftlichen Nutzung nicht gut genug ist, um wirtschaftliche Schäden zu

verhindern. Viele Wildpflanzen haben aber durch natürliche Selektion Resistenzgene gegen pathogene Mikroorganismen entwickelt. Solche Resistenzgene sind teilweise auch in konventionellen Nutzsorten vorhanden. Sie durch Kreuzung in nicht resistente Sorten einzuführen, ist möglich. Dabei werden aber auch

viele andere, teilweise unerwünschte Eigenschaften eingekreuzt.

Es braucht somit wiederholte Rückkreuzungen, um wieder landwirtschaftlich vorteilhafte Sorten zu erhalten – und diese müs-

sen sich dann erst wieder auf dem Markt durchsetzen. Selbst wenn dies gelingt, ist die Verbesserung der genetisch bedingten Resistenz in Pflanzensorten eine fortwäh-

rende Aufgabe, da sich Pathogene häufig an vorhandene Resistenzen anpassen und diese durchbrechen können. Ein Beispiel hierfür ist die seit 1999 beobachtete Verbreitung einer neuen, aggressiven Ras-

se des Pilzes, der in Weizen Schwarzrost (*Puccinia graminis*) hervorruft.

Angesichts der Anpassungsfähigkeit der Pathogene ist die züchterische Verbesserung der Krankheitsresistenz auf innovative Ansätze und Methoden angewiesen. Mit einer gentechnischen Veränderung

Resistenzen durch Kreuzung in nicht resistente Kulturpflanzen einzuführen, ist möglich. Dabei werden aber auch unerwünschte Eigenschaften eingekreuzt.

Mittels Gentechnik kann man eine Resistenz zielgerichtet in eine bestehende Sorte einbringen, ohne dass andere Eigenschaften verloren gehen.

Freilandversuch mit transgenem Weizen: eingesetzte Pilzresistenzgene

In den Weizenversuchen wurden 14 gentechnisch veränderte Weizenlinien untersucht (siehe Tabelle 1.1). Bei 12 transgenen Linien, die vom Institut für Pflanzenbiologie der Universität Zürich zur Verfügung gestellt wurden, war die Sorte «Bobwhite» mit jeweils einer von sechs verschiedenen Varianten (Allelen) eines Resistenzgens (*Pm3a-d* sowie *f* und *g*) versehen worden. Diese Allele unterscheiden sich in ihrer Wirksamkeit gegen verschiedene Stämme des Mehltauerregers (*Blumeria graminis* f. *sp. tritici*). Die Forschenden hatten dem Pm3-Gen einen Promotor hinzugefügt, der die Aktivität des Gens und damit die Resistenzkraft der Pflanzen noch verbessern sollte gegenüber den Landsorten, in denen dieses Gen natürlicherweise vorkommt. Als Kontrolle wurde für jede transgene Linie eine Isolinie in die Versuche einbezogen, welche das Resistenzgen durch genetische Segregation verloren hatte, die aber sonst die gleichen Gewebekulturverfahren durchlaufen hatte wie die entsprechende transgene Linien.

Ein anderer Ansatz zur Verbesserung der Mehltaresistenz wurde mit zwei Linien vom Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH Zürich verfolgt. Diese transgenen Linien wurden mit der Weizensorte Frisal hergestellt, die bereits eine gute, auf der Wirkung von mehreren schwachen Genen beruhende Teilresistenz zeigt. Diese GVP exprimieren eine Kombination der Chitinase- und Glucanase-Gene aus Gerste. Beide kodieren für Enzyme, die in der Pflanze natürlich vorkommen und die Aussenwand von Pilzen abbauen. Die Gene aus der Gerste sollten im Weizen einen Schutz gegen ein breiteres Spektrum von Pilzarten vermitteln.

kann man eine Resistenz zielgerichtet in eine bestehende Sorte einbringen, ohne dass ihre anderen Eigenschaften verloren gehen.

Zudem lässt sich so die Aktivität der Resistenzgene erhöhen, optimieren und allenfalls auf bestimmte Teile der Pflanzen beschränken. Welcher Ansatz für die Resistenzzüchtung optimal ist, kann von der verwendeten Pflanzenart oder -sorte, den Krankheitserregern sowie von Faktoren des Markts abhängen.

Bereits vor der Lancierung des NFP 59 hatten Forschungsgruppen der Universität Zürich sowie der ETH Zürich Pilzresistenzgene aus Weizen und Gerste in verschiedene Weizensorten eingebaut (siehe Box). Mit diesen gentechnisch veränderten Weizenlinien wollten die Forscher aber nicht neue Sorten für eine landwirtschaftliche Nutzung entwickeln, sondern vielmehr grundlegende Mechanismen der Pilzresistenz beim Weizen und deren Entstehung im Lauf der Evolution erforschen.

Das NFP 59 bot die einmalige Gelegenheit, die Eigenschaften dieser Pflanzen in Feldversuchen, also unter natürlichen Bedingungen, zu untersuchen und gleichzeitig zentrale Fragen zu Nutzen und Risiken gentechnisch veränderter Pflanzen abzuklären. Um für diese umfassenden Arbeiten über alle nötigen Kompetenzen und Arbeitskapazitäten zu verfügen, bildeten die Forschenden ein interdisziplinär zusammengesetztes Forscherkonsortium (Konsortium Weizen).

Tabelle 1.1: Im Weizenversuch verwendete Resistenzgene und Einsatz der verschiedenen Weizenlinien

Quelle: siehe Tabellenverzeichnis

Transgen/Allel	GV-Linie	Isolinie	Hintergrundsorte	Zürich-Reckenholz			Pully	
				2008	2009	2010	2009	2010
<i>Pm 3a</i>	Pm3a#1	Sa#1	Bobwhite SH 98 26	P	P			
	Pm3a#2	Sa#2	Bobwhite SH 98 26	P	P			
<i>Pm3b</i>	Pm3b#1	Sb#1	Bobwhite SH 98 26	P				
	Pm3b#2	Sb#2	Bobwhite SH 98 26	P	P			
	Pm3b#3	Sb#3	Bobwhite SH 98 26	P				
	Pm3b#4	Sb#4	Bobwhite SH 98 26	P				
<i>Pm 3c</i>	Pm3c#1	Sc#1	Bobwhite SH 98 26		P			
	Pm3c#2	Sc#2	Bobwhite SH 98 26		P			
<i>Pm 3d</i>	Pm3d#1	Se#1	Bobwhite SH 98 26	P	P			
<i>Pm 3f</i>	Pm3f#1	Sf#1	Bobwhite SH 98 26		P			
	Pm3f#2	Sf#2	Bobwhite SH 98 26		P			
<i>Pm 3g</i>	Pm3g#1	Sg#1	Bobwhite SH 98 26		P			
Chitinase, (Glucanase*)	A9	Frisal	Frisal	P	P			
Chitinase, Glucanase	A13	Frisal	Frisal	P	P			

* Das Glucanasegen ist in der Linie A9 nicht aktiv

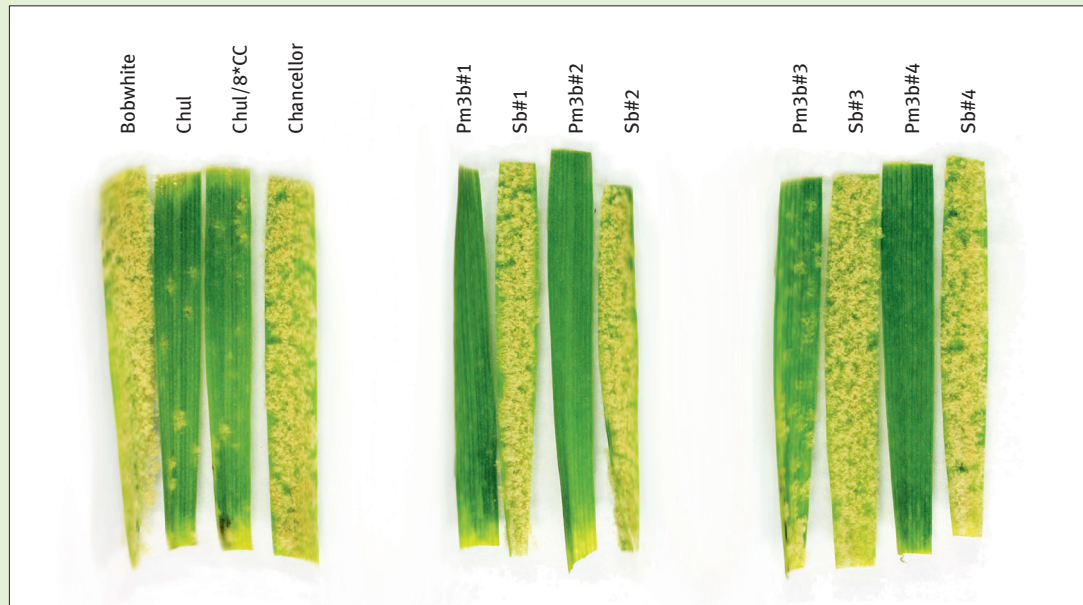
P: Parzellen zur Saatgutvermehrung
Dunkelgrüne Felder: Experimentelle Parzellen

Da die transgenen Pflanzen ursprünglich für die Beantwortung grundsätzlicher wissenschaftlicher Fragen hergestellt wurden, stand nur eine beschränkte Zahl gentechnisch veränderter Linien zur Verfügung. So sind die getesteten Linien als Modellpflanzen für Forschungsfragen zu verstehen und keinesfalls als Basismaterial für weitere pflanzenzüchterische Aktivitäten. Dies muss bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt werden.

ERPROBUNG VON PILZRESISTENZEN IM FELDVERSUCH

In den drei- beziehungsweise zweijährigen Feldversuchen in Zürich-Reckenholz und Pully bei Lausanne waren alle getesteten Pm3-Linien signifikant resistenter gegen Mehltau als ihre jeweiligen nicht transformierten Schwesterlinien (siehe Abbildung 1.4). Dies traf sowohl auf natürliche als auch auf künstliche Infektionen zu. Da aber zwischen Mehltaurassen grosse

Abbildung 1.4: Mehlttauresistenz transgener Weizenpflanzen



Blätter verschiedener Weizenlinien wurden im Keimlingsstadium mit Mehltau infiziert. Kolonien von Mehltau sind als helle Flecken sichtbar. Die Landrassen Chul und Chul/8*CC enthalten von Natur aus das Pm3b-Resistenzgen. Die Zuchtrassen Chancellor und Bobwhite sind nicht resistent. Die vier mit *Pm3b* transformierten Bobwhite-Linien (Pm3b#1 bis Pm3b#4) sind hingegen resistent, während ihre Isolinen (Sb#1 bis Sb#4), welche das Pm3b-Transgen nicht enthalten, anfällig für Mehltau sind.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

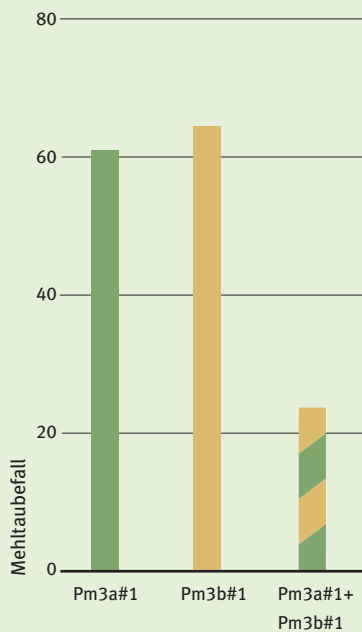
Unterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber den sechs verwendeten Pm3-Allelen bestehen, hing das Ausmass der Schutzwirkung von der Zusammensetzung der jeweiligen Mehltaupopulation ab.^[3] Die transgenen Linien mit den Resistenzallelen *Pm3a* und *Pm3b* waren resistenter als die Weizensorten, die diese Gene natürlicherweise enthalten.

Dies ist ein Hinweis darauf, dass die verstärkte Expression des Transgens die

Resistenz erhöht. Hingegen zeigten die transgenen Chitinase- beziehungsweise Chitinase/Glucanase-Linien der bereits teilresistenten Sorte Frisal im Feldversuch nur unter bestimmten Bedingungen (bei Abwesenheit von konkurrenzierenden Weizenpflanzen) eine Verbesserung der Mehlttauresistenz.

Besonders interessant und bisher nicht beschrieben war, dass Gemische zweier Linien mit verschiedenen Pm3-Allelen

Abbildung 1.5: Resistenz von Multiliniien im Feldversuch



Im Jahr 2009 zeigten die beiden transgenen Linien Pm3a#1 und Pm3b#1 einen ähnlich starken Befall mit Mehltau. Wuchsen die beiden resistenten Linien im gemischten Feld, war der Befall deutlich niedriger als jener in den Parzellen der einzelnen Linien. Auch andere Gemische sowie die Wiederholung der Experimente im Jahr 2010 ergaben ähnliche Resultate: Gemische sind resistenter als die jeweiligen Weizenlinien alleine. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

resistenter sind als ihre einzelnen Komponenten (siehe Abbildung 1.5).^[4]

Diese sogenannten Multiliniien könnten eine vielversprechende Alternative zum aufwendigeren Kombinieren mehrerer

Resistenzgene in der gleichen Pflanze darstellen. In der Fachsprache wird dafür zumeist der englische Ausdruck stacking verwendet, gelegentlich auch pyramiding.

Beide Ansätze (Multiliniien und Stacking) erlauben es, ein breiteres Erregerspektrum abzudecken und Resistenzgene effizient und nachhaltig zu nutzen.

Mit Multiliniien kann man jedoch die gesamte Aktivität von Resistenzgenen pro Pflanze tiefer halten, was dazu beitragen kann, die im nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Nebeneffekte zu reduzieren oder auszuschliessen. Ein solcher Multilinieneffekt dürfte aber nur bei Pflanzen mit einer hohen Flächendichte wirksam sein, also insbesondere bei allen Getreidearten.

Einige der transgenen Linien waren resistenter als die Weizensorten, die diese Gene natürlicherweise enthalten.

NEBENEFFEKTE, ERTRAGSLEISTUNG UND KONKURRENZFÄHIGKEIT

Wachstum, Aussehen und Leistung der pilzresistenten Weizenlinien sowie deren Konkurrenzfähigkeit im Vergleich zu benachbarten Weizen- und Wildpflanzen wurden unter verschiedenen Umweltbedingungen untersucht. Im Feldversuch zeigten fünf der zwölf Pm3-Linien Veränderungen mehrerer Merkmale, welche unter den kontrollierten Bedingungen in Gewächshäusern oder Klimakammern nicht aufgetreten waren (siehe Abbildung 1.6).^[5]

Abbildung 1.6: Veränderungen von Merkmalen im Gewächshaus und im Feldversuch

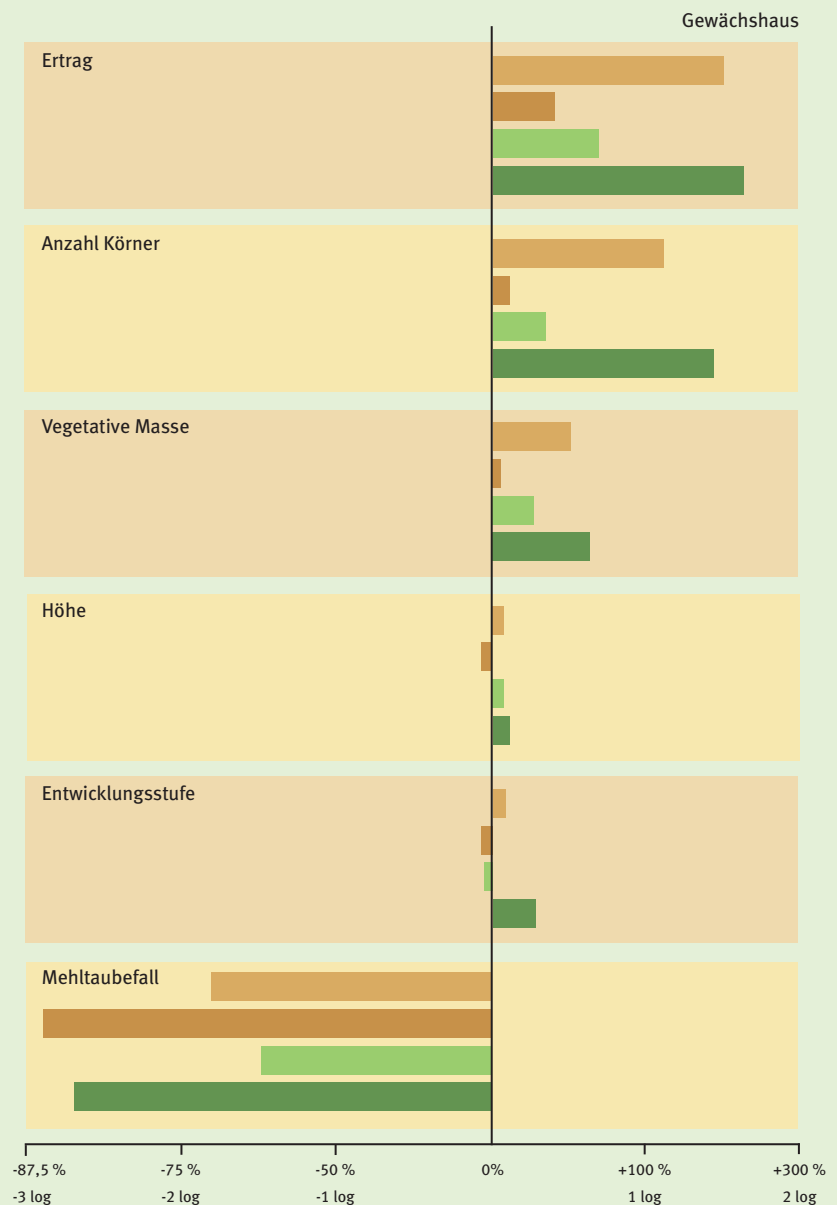
Relative Differenz zwischen transgenen Pflanzen und Kontrollpflanzen für vier Weizen-Linien (in logarithmischer Skala). Sowohl im Gewächshaus als auch im Feld war die Mehltaresistenz bei den transgenen Linien höher als bei ihren Schwesterlinien.

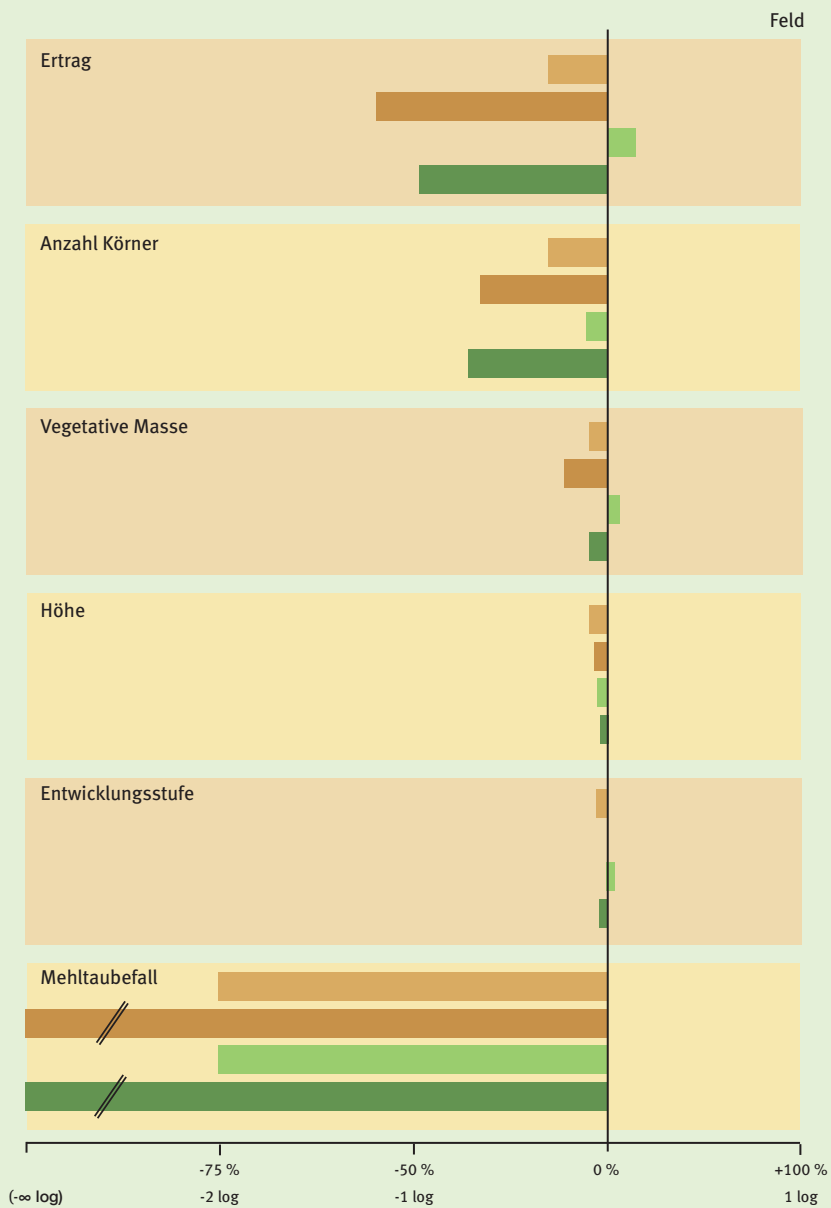
Im Gewächshaus waren der Ertrag, die Körnerzahl und die vegetative Masse bei den gentechnisch veränderten Linien grösser als bei den Isolinen. Im Freiland hingegen waren diese Parameter bei den transgenen Linien deutlich kleiner.

Die Differenz ist gemittelt über die Nährstoffdosierungen.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Hellbraun: Pm3b#1 im Vergleich zu S3b#1,
Braun: Pm3b#2 vs. S3b#2,
Hellgrün: Pm3b#3 vs. S3b#3,
Grün: Pm3b#4 vs. S3b#4.
Die X-Achse zeigt die logarithmische Darstellung mit Basis 2 und die Originalwerte in Prozent.





Die Effekte, die bei den verschiedenen Linien in unterschiedlichem Mass auftraten, reichten von einer Überempfindlichkeit gegenüber Fungizidbehandlungen über verminderte Fruchtbarkeit (reduzierte Körnerzahlen und Körnergrößen) und gelb verfärbte Blätter bis hin zu einer reduzierten Wuchshöhe sowie einer verlangsamten Entwicklung. Zudem waren bei einigen Linien die Blüten länger geöffnet als normal (siehe Abbildung 1.7). Dies erhöhte die Anfälligkeit für Mutterkorn, ein pilzliches Pathogen, dessen Sporen offene Getreideblüten befallen.

Die stärksten Nebeneffekte traten in jenen transgenen Linien auf, welche die höchste Transgenaktivität zeigten. Vermutlich hat die zu hohe Expression des Transgens den Stoffwechsel der Pflanze belastet.

Dies bedeutet, dass der Promotor das eingeführte Gen nicht zu stark exprimieren darf, da der Pflanze sonst Wachstums- und/oder Entwicklungs-nachteile entstehen können. Möglicherweise könnten die Effekte minimiert werden, indem die Expression des Transgens optimiert beziehungsweise auf bestimmte Gewebe der Pflanze beschränkt wird. Allerdings ist der Zusammenhang zwischen

der Aktivität eines Resistenzgens und der Physiologie und Entwicklung der Pflanze noch ungenügend erforscht. Hier haben die Feldversuche eine wertvolle Basis für weiterführende Untersuchungen geliefert.

Zwar sind Nebeneffekte als Konsequenz einer Überexpression eines Resistenzgens schon verschiedentlich beschrieben worden, unter anderem

auch bei Weizen.^{[6][7][8]} Dass diese aber erst im Freiland und nicht schon im Gewächshaus auftreten, scheint bisher nicht beobachtet worden zu sein. Überhaupt sind in der Literatur wenige Nebeneffekte bei konventionellen und gentechnischen Zuchtprogrammen dokumentiert. Jedoch ist allgemein bekannt, dass in Kreuzungszuchtprogrammen eine sehr grosse Anzahl unbrauchbarer Linien mit vielen für eine landwirtschaftliche Nutzung unerwünschten Nebeneffekten entstehen. Solche Pflanzenlinien werden aber schnell aus dem Zuchtprogramm eliminiert und es findet auch keine Forschung an ihnen statt.

In der gentechnischen Pflanzenzüchtung ist die Situation ähnlich: In kommerziellen Projekten werden sehr viele transgene Linien erzeugt, aus denen man dann in einem Screening-Verfahren

Die stärksten Nebeneffekte traten in den transgenen Linien mit der höchsten Transgenaktivität auf. Vermutlich hat die hohe Expression des Transgens die Pflanzen belastet.

In Kreuzungszuchtprogrammen entstehen immer unbrauchbare Linien mit vielen für eine landwirtschaftliche Nutzung unerwünschten Nebeneffekten.

Abbildung 1.7: Spezielle Ährenformen transgener Linien



Die transgenen Weizenlinien Pm3b#2 und Pm3b#4 hatten im Feld ihre Blüten länger geöffnet als ihre Kontrolllinien Sb#2 und Sb#4. Dies machte sie anfälliger für Mutterkorn (*Claviceps purpurea*).

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

diejenigen aussucht, welche die gewünschten Eigenschaften, aber keine Nebeneffekte aufweisen.^[9] Über die «erfolgslosen» Linien ist nur wenig bekannt, weil sie nicht im Detail analysiert werden und darum auch nur selten in Publikationen auftauchen.

Nebenwirkungen sind also zu erwarten; sie traten in den im NFP 59 untersuchten pilzresistenten Weizenlinien in weniger als der Hälfte der untersuchten Linien auf, wurden aber grösstenteils erst im Freiland sichtbar. Diese Resultate

belegen, dass Freilandversuche nicht nur im Hinblick auf die biologische Sicherheit, sondern auch für züchterische Aspekte sehr wichtig sind.

Die agronomische Leistung, welche bei den vier Pm3b-Linien und ihren Isolinien besonders eingehend untersucht wurde, war stark umweltabhängig. Im Gewächshaus – unter günstigen Bedingungen, aber mit starkem Mehлтаubefall – führte die Mehлтаuresistenz zu einem erhöhten Körnerertrag. Der Ertrag konnte bei hoher Düngung etwa verdoppelt werden.

Phytometer-Technik

Im Feldversuch wurden im Gewächshaus gezogene transgene und konventionelle Weizenpflanzen als eine Art «biologische Messfühler» eingesetzt. Diese unter optimalen und kontrollierten Bedingungen gezogenen Pflanzen waren sozusagen «naiv» gegenüber den Umweltbedingungen im Freiland. Sie wurden in verschiedene Parzellen eingepflanzt, die sich zum Beispiel in der Weizensorte, der Düngung oder dem Befall durch Krankheitserreger unterschieden. Der Einfluss dieser Umweltfaktoren sollte sich im Wachstum, der Biomasse und der Reproduktion dieser Phytometer-Pflanzen zeigen. Weiter wurde auch untersucht, inwiefern die Konkurrenz zwischen Pflanzen eine Rolle spielt. Diese aus der Ökologie bekannte Messmethode, welche sehr detaillierte und aufschlussreiche Resultate liefert, könnte sich auch bei anderen Fragestellungen im Zusammenhang mit GVP als wertvoll erweisen.^[10]

äusserte) und deshalb nicht von der Düngung profitieren konnten, während die nicht transgenen Isolinien die Düngung ausnützen konnten. Als Stressfaktoren kommen die erhöhte Konkurrenz mit Nachbarpflanzen sowie klimatische Bedingungen infrage.

Andererseits wurde der Ertrag in einem zweiten Experiment nach einem Standardverfahren der agronomischen Sortenprüfung mit grossen Parzellen gemessen. Dabei zeigte sich, dass eine der Pm3b-Linien (Pm3b#2) eine Ertragsreduktion von 12,2 Prozent (in Pully) beziehungsweise 34 Prozent (in Zürich-Reckenholz) erlitt, während bei den anderen Linien kein substantieller Ertragsverlust gefunden

Im Feldversuch wurde der Ertrag auf zwei Arten bestimmt. Einerseits wurde der Samenertrag an Einzelpflanzen bestimmt. In solchen Experimenten war der Ertrag einiger Pm3b-Linien um etwa die Hälfte niedriger; diese Differenz wurde durch Düngung sogar noch verstärkt. Dies deutet darauf hin, dass die betroffenen

Pm3b-Einzelpflanzen unter Feldbedingungen gestresst waren (was sich auch in den bereits erwähnten Nebeneffekten

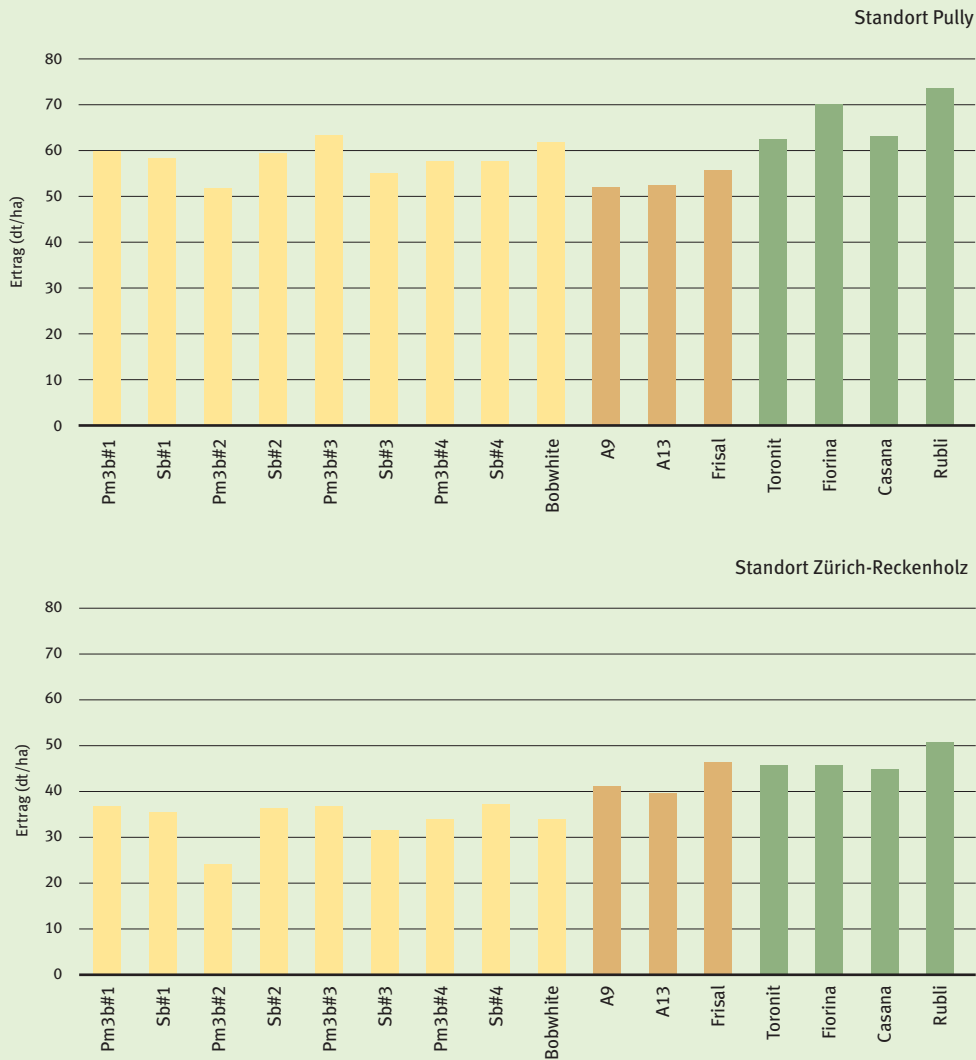
wurde (siehe Abbildung 1.8).

Weiter untersuchten die Forscher die Expression sehr vieler Gene der Pm3b-Linien unter verschiedenen Bedingungen. Dabei zeigte sich, dass die Unterschiede zwischen verschiedenen Weizensorten höher waren als jene zwischen den transgenen und den nicht transgenen Linien.

Im Rahmen der Weizenstudie wurde auch abgeklärt, ob die GVP nach der Ernte wieder auskeimen und in einer

Die Resultate belegen, dass Freilandversuche nicht nur für die biologische Sicherheit, sondern auch für züchterische Fragestellungen sehr wichtig sind.

Abbildung 1.8: Weizenerträge an zwei Standorten



Der Kornertag (in 100 Kilogramm pro Hektare) war in Pully deutlich höher als in Zürich-Reckenholz. Ausschlaggebende Faktoren für diesen Unterschied könnten das Klima oder die Art der Bewirtschaftung sein. Im Vergleich zu ihrer nicht transgenen Schwesterlinie zeigte einzig die Linie Pm3b#2 eine Ertragsreduktion. In Pully betrug sie zwölf Prozent, in Zürich-Reckenholz waren es 34 Prozent. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Gemeinschaft von gemischten Gräsern gedeihen beziehungsweise sich fortpflanzen können. Die gentechnisch veränderten Linien waren den nicht transgenen Weizenpflanzen in keiner Weise überlegen. Im Gegenteil waren Pm3b-Linien in Unkrautgemeinschaften weniger konkurrenzfähig als nicht transgene Kontrolllinien.

Die Kultivierung von gentechnisch verändertem Weizen hatte auch keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Artenvielfalt und die Dichte der Unkrautgemeinschaften nach der Ernte.

Eine Reihe von Experimenten untersuchte die Backqualität des aus transgenen Weizenpflanzen gewonnenen Mehls. Es zeigte sich, dass die Körner der transgenen Weizenpflanzen einen erhöhten Proteingehalt und eine gleich gute oder leicht bessere Backqualität aufweisen. Diese Beobachtung muss in zukünftigen Studien weiter vertieft werden und steht möglicherweise in einem direkten Zusammenhang mit der Resistenz.

Zusammenfassend ergeben diese Befunde keinen Hinweis auf eine Beeinträchtigung der Umwelt durch die transgenen Weizenpflanzen. Hingegen scheint unter Freilandbedingungen eine hohe Expression des Resistenzgens *Pm3b*

die Entwicklung und Leistung der Pflanzen bis zu einem gewissen Grad negativ zu beeinflussen.

AUSKREUZUNG UND IHRE KONSEQUENZEN

Kreuzen sich landwirtschaftlich genutzte transgene Pflanzen mit verwandten Wildpflanzen, so können die daraus entstehenden Hybridpflanzen neue Eigenschaften

haben, die sorgfältig analysiert werden müssen. Erfolgt eine Auskreuzung hingegen mit Nutzpflanzen derselben Art, so kann dies den Status der Gentechnikfreiheit einer benach-

barten Anbaufläche infrage stellen. Darum ist es wichtig, diese beiden Arten der Auskreuzung zu untersuchen.

Auskreuzung auf Wildarten

Damit sich ein Transgen unter Wildpflanzen ausbreiten kann, müssen lebens- und reproduktionsfähige Hybride entstehen. Diese müssen über einen Selektionsvorteil beziehungsweise über günstige Vermehrungseigenschaften (hohe biologische Fitness) verfügen, damit

sie die nicht transgenen Wildpflanzen verdrängen können. Deshalb untersuchten zwei Projekte im Rahmen des

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Weizensorten waren höher als zwischen den transgenen und den nicht transgenen Linien.

Der Anbau von gentechnisch verändertem Weizen hatte keine Auswirkungen auf die Artenvielfalt und die Dichte der Unkrautgemeinschaften nach der Ernte.

Weizenfeldversuchs, ob sich die Pm3-Linien und ihre Isolinien auf die nahe verwandte Grasart *Aegilops cylindrica* auskreuzen und wie hoch die Fitness der allenfalls entstehenden Hybriden ist.

Zunächst zeigten genetische Untersuchungen, dass heute vorkommende *Aegilops*-Arten in der Vergangenheit oft Genmaterial aus Weizen übernommen haben. Zudem hat auch ein Austausch von Erbmaterial zwischen verschiedenen *Aegilops*-Arten stattgefunden. Somit kann eine Auskreuzung von transgenem Weizen unter Umständen als Brücke für einen Genfluss in weitere Wildgräser dienen.

Die Häufigkeit der Hybridisierung konnte im Feldversuch nicht zuverlässig bestimmt werden. Sie dürfte aber aus zwei Gründen gering sein: Einerseits wegen der weiter unten erwähnten geringen Kreuzungsdistanzen von Weizen. Andererseits, weil für eine Auskreuzung die beiden beteiligten Pflanzen gleichzeitig blühen müssen, was nur im ersten Jahr des Feldversuchs der Fall war.

Was die Fitness betrifft, so waren experimentell produzierte Hybriden grösser und stärker als *Aegilops cylindrica*. Sie produzierten aber wesentlich weniger Körner

als *Aegilops*. Bei Hybriden mit «Bobwhite» waren es achtmal weniger, bei «Frisal»-Hybriden sogar 60 Mal. Die Resultate waren umweltabhängig und schwankten von Jahr zu Jahr. Die Forscher fanden aber keinerlei signifikante Unterschiede zwischen Hybriden mit transgenen Linien und solchen mit nicht transgenem Weizen.

Die Mehrheit der Weizen/*Aegilops*-Hybriden – ob transgen oder nicht – zeigte eine reduzierte Fitness. Es traten aber doch vereinzelt Hybriden auf, welche wilde *Aegilops*

cylindrica an Fitness übertrafen. Mögliche Gründe für diese Variabilität zwischen verschiedenen Hybriden der gleichen Elternlinien sind sowohl unterschiedliche Umweltbedingungen als auch die indivi-

duell verschiedene genetische Zusammensetzung solcher Hybriden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die grosse Mehrheit von Hybriden in Wildpopulationen nicht durchsetzen wird. Zudem kann die Wahrscheinlichkeit, dass sich Transgene mittels vereinzelt auftretender fitterer Hybriden ausbreiten, als sehr gering eingeschätzt werden.

Die Auskreuzung zwischen transgenen Nutzpflanzen und wilden Verwandten wurde auch anhand von Erdbeeren untersucht.

Man fand keine signifikanten Unterschiede zwischen Hybriden mit transgenem Weizen und solchen mit nicht transgenen Linien.

Die Wahrscheinlichkeit, dass sich Transgene mittels vereinzelt auftretenden fitteren Hybriden ausbreiten, kann als sehr gering eingeschätzt werden.

Tatsächlich gibt es bereits transgene Linien dieser beliebten Fruchtpflanze, die aber bisher noch nicht kommerziell angebaut werden. Erdbeeren sind ausdauernd und vermehren sich sowohl sexuell durch Bestäubung als auch vegetativ durch Seitensprossung. Zudem sind Erdbeeren Rosengewächse und könnten deshalb auch als Modell

für andere kultivierte Rosengewächse, wie die meisten Fruchtbäume (z. B. Apfel, Birne, Kirsche) dienen.

Die Experimente zeigten erstens, dass Kreuzungen zwischen der diploiden Walderdbeere (*Fragaria vesca* L.) und der octoploiden Gartenerdbeere (*F. × ananassa* Duch.) zu lebensfähigen Hybridpflanzen führen. Zweitens konnten auch Hybriden mit zwei transgenen Erdbeerlinien erzeugt werden. Bei einer der Linien wird mit dem Transgen die Fruchtproduktion erhöht, bei der anderen die Bewurzelung und die Zuckerproduktion. Jedoch bildeten die Hybridpflanzen keine fruchtbaren Samen und die Früchte waren verkümmert.

Weiter konnten die Forscher während dreier Anbaujahre in der Umgebung mehrerer Landwirtschaftsbetriebe, die

seit über zehn Jahren Erdbeeren anbauen und in deren Umgebung Walderdbeeren vorkommen, unter den wilden Erdbeeren keine Hybriden zwischen diesen Arten nachweisen.

Somit sind Auskreuzungen von transgenen Erdbeeren unter natürlichen Bedingungen zwar nicht vollständig auszuschließen, aber doch höchst unwahrscheinlich. Sollte es aber doch einmal dazu kommen, dürften die Hybriden in den allermeisten Fällen unfruchtbar sein.

Das bedeutet: Sie könnten sich nur vegetativ ausbreiten, was ihre Ausbreitung auf wenige Meter beschränkt. Es kann aber nicht ganz ausgeschlossen werden, dass andere transgene Erdbeerlinien fruchtbare Hybriden produzieren könnten.

Die Beispiele des Weizens und der Erdbeere zeigen, dass Auskreuzungen und Genfluss von Kultur- auf Wildpflanzen möglich sind. Die Häufigkeit solcher Auskreuzungen und ihre Verbreitung hängen aber stark von der Reproduktionsbiologie der jeweiligen Pflanzen, von deren Durchmischung im Feld, von allfälligen Vektoren (z. B. Wildbienen als Bestäuber von Erdbeeren) und von der Tendenz zur Auswilderung der jeweiligen Kulturpflanze ab.

Auskreuzungen von transgenen Erdbeeren sind unter natürlichen Bedingungen höchst unwahrscheinlich. Sollte es aber doch einmal dazu kommen, dürften die Hybriden unfruchtbar sein.

Die Auskreuzung eines Transgens zieht nicht automatisch negative Konsequenzen für das Ökosystem nach sich.

Letztere ist zum Beispiel für Raps höher als für Weizen. Somit muss jeder Fall individuell beurteilt werden. Es muss aber auch berücksichtigt werden, dass eine Auskreuzung eines Transgens nicht automatisch negative Konsequenzen für das Ökosystem nach sich zieht.

Bisherige Erkenntnisse zu diesem Thema sind in einer umfangreichen Literaturrecherche im Rahmen des NFP 59 zusammengetragen worden.^[11]

Auskreuzung auf andere Nutzpflanzen

Da im Feldversuch mit transgenem Weizen verschiedene Zuchtlinien auf engstem Raum standen, liess sich die Auskreuzung der transgenen auf nicht transgene Weizenpflanzen sehr genau bestimmen. Unter 185'000 Körnern der Sorte «Frisal» wurden nur fünf Auskreuzungen gefunden, zwei davon im Innern des Felds und drei im Isolationsgürtel, der um das Versuchsfeld ange-sät worden war, jedoch keine ausserhalb des Isolationsgürtels. Die Distanz dieser Hybriden zur nächsten Parzelle mit GVP betrug maximal 2,6 Meter.^[12]

Weiter konnte man anhand der bereits erwähnten Phytometer-Pflanzen

bestimmen, dass in kurzen Abständen innerhalb eines Felds 0,55 Prozent der nicht transgenen Blüten fremdbestäubt wurden.^[13] Diese Fremdbestäubungsrate sank bis zum Abstand von 2,5 Metern auf unter 0,05 Prozent. Es zeigt sich also, dass schon geringe Isolationsdistanzen im Feld genüigten, um Auskreuzungen zu verhindern. Dies hängt damit zusammen, dass Weizen im wesentlichen eine selbstbestäubende Pflanzenart ist.^[14] Aufgrund dieser Befunde kann gefolgert werden, dass bei Weizen Feldabstände von maximal 5 Metern genügen, um eine Auskreuzung zu verhindern.

Die geringe Auskreuzungsrate erlaubt somit sichere Feldversuche mit Weizen und deutet darauf hin, dass eine Koexistenz von transgenem und nicht transgenem Weizen möglich ist.

Saatgutverunreinigung

In einem weiteren Versuch wurde das Problem der Saatgutverunreinigung untersucht (Projekt *Modell zur Voraussage der Saatgutverunreinigung*). Das Saatgut von 20 Maisfeldern im schweizerischen Mittelland (17 integrierte Produktion, 3 bio-organisch) wurde zu einem Prozent mit Körnern der

Bei Weizen genügen
Feldabstände von maximal
5 Metern, um eine
Auskreuzung zu verhindern.

Die Verunreinigung von
Saatgut sollte bei Mais höchstens
0,2 bis 0,5 Prozent betragen,
damit eine Verunreinigung im
Erntegut von 0,9 Prozent nicht
überschritten wird.

blaukörnigen Sorte «Adonis» vermischt. Die Analyse des Ernteguts ergab eine durchschnittlich 2,8 Mal höhere Verunreinigung, was darauf zurückzuführen ist, dass «Adonis» mehr Pollen ausschüttet als die anderen ausgesäten Maissorten.^[15]

Dieselbe Forschergruppe entwickelte auch ein mathematisches Modell (Seed Admixture Model, SAMETH), das in der Lage ist, die Entwicklung einer Saatgutverunreinigung aufgrund von Blühmerkmalen verschiedener Maissorten abzuschätzen.

Das Modell wurde mit den Daten aus sechs Feldern kalibriert und dann mit den restlichen 14 Feldern validiert. Es war in der Lage, die Verunreinigung bei der Ernte vorauszusagen.^[15] Das Modell bietet sich somit als Werkzeug für Szenarien-Simulationen an, wenn Feldversuche aus Kosten-, Zeit- oder Sicherheitsgründen nicht durchgeführt werden können.

Aufgrund dieser Untersuchung wird vorgeschlagen, dass die Verunreinigung von Saatgut bei Mais mit einer vergleichbaren Pollenproduktion höchstens 0,2 bis 0,5 Prozent betragen sollte, damit eine Verunreinigung im Erntegut von 0,9 Prozent nicht überschritten wird. Dies entspricht dem Grenzwert für nicht gentechnisch veränderte Nahrungs- und Futterstoffe in der Schweiz und der EU.

ANSÄTZE FÜR NEUE GENTECHNISCH VERÄNDERTE PFLANZEN

Das NFP 59 unterstützte auch drei Neuentwicklungen von GVP, von denen anzunehmen war, dass sie wegen ihres methodischen Ansatzes beziehungsweise wegen der angestrebten Anwendung in der Bevölkerung auf eine hohe Akzeptanz stossen und neue Denkanstösse für die Diskussion über gentechnisch veränderte Pflanzen liefern könnten.

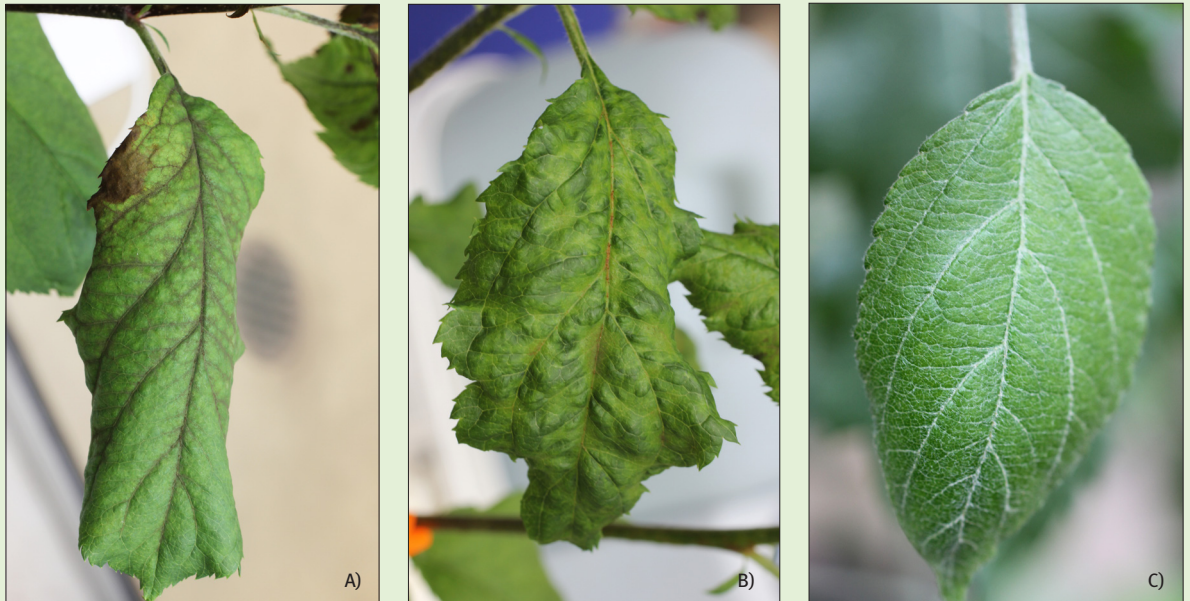
Schorfresistente Äpfel

Das Projekt *Schorfresistente Äpfel* hat mehrere Linien der Sorte «Gala» mit einer Resistenz gegen Apfelschorf ausgestattet. Das Besondere an diesem Projekt war, dass nur Gene aus dem Apfelgenom verwendet wurden. So stammte das in diesem Projekt eingeführte Schorfresistenzgen *HcrVf2* aus einer Wildapfelsorte. Für diese Art der genetischen Veränderung wurde der

Im Gewächshaus zeigten cisgene Apfelbäume der Sorte «Gala» im Vergleich zu den nicht genveränderten Pflanzen eine deutlich geringere Anfälligkeit für Apfelschorf.

Begriff «cisgen» geprägt – im Gegensatz zu «transgen», wo Gene auch über die Artengrenze hinweg transferiert werden (siehe Kapitel 4.3). Wichtig war auch, dass sämtliche Hilfgene, die für die Schaffung der cisgenen Linien verwendet werden mussten, später wieder eliminiert werden konnten. Die so gezüchteten Pflänzchen wurden dann auf Apfelunterlagen gepfropft, im Gewächshaus kultiviert und weiter vermehrt.

Abbildung 1.9: Anfälligkeit für Apfelschorf



Blätter verschiedener Apfelpflanzen drei Wochen nach der Infektion mit Konidien des Schorfpilzes *Venturia inaequalis*.

- A) Blatt von der Sorte 'Gala'. Das schwarze Mycel des Pilzes ist auf dem Blatt der nicht gentechnisch veränderten Pflanze gut sichtbar.
- B) Blatt einer gentechnisch veränderten 'Gala'-Apfelpflanze. Die hellen Stellen entstehen durch die Abwehrreaktion der Pflanze. Die cisgenen Linien zeigten ein stark reduziertes Pilzwachstum im Vergleich zu den nicht gentechnisch veränderten Linien.
- C) Ein völlig unversehrtes Blatt der schorffresistenten Apfelsorte 'Florina'.

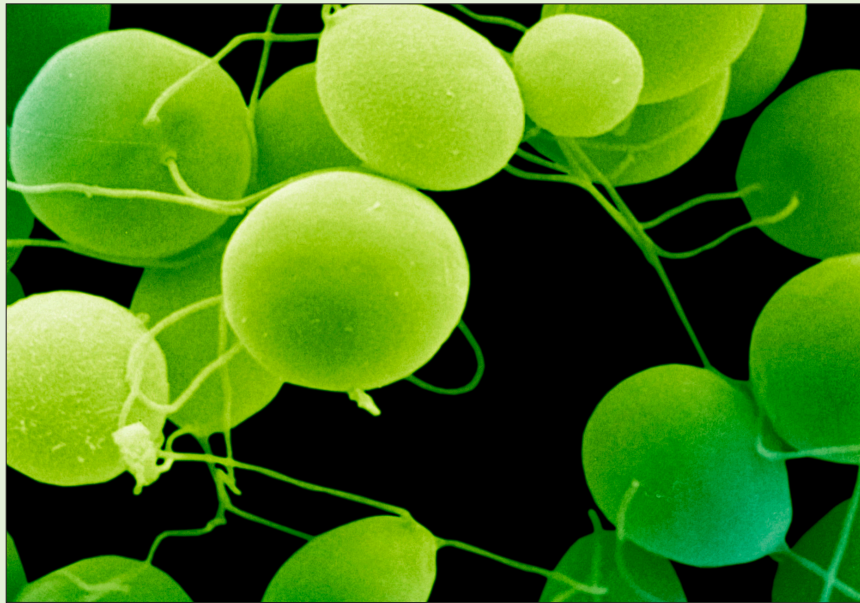
Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Im Test im Gewächshaus waren die cisgenen Pflanzen zwar nicht vollständig resistent gegen Schorf, zeigten aber doch eine deutlich geringere Anfälligkeit und ein stark reduziertes Pilzwachstum im Vergleich zu der nicht transformierten Apfelsorte 'Gala' (siehe Abbildung 1.9).

So erwies sich dann in der Analyse die Aktivität des Resistenzgens in den cisgenen Linien niedriger als in der klassisch

gezüchteten schorffresistenten Sorte 'Florina'. Bezüglich Wachstum und Aussehen zeigten die cisgenen 'Gala'-Äpfel keine statistisch relevanten Unterschiede zu den nicht genveränderten. Auch die Zusammensetzung der Proteine und insbesondere die Produktion von allergenen Proteinen war durch die Genveränderung nicht beeinflusst worden. Einschränkung ist zu sagen, dass die

Abbildung 1.10: Fischimpfung mit transgenen Grünalgen



Im Projekt des NFP 59 liessen Forscher gentechnisch veränderte Grünalgen in ihrem Innern Bestandteile eines Krankheitserregers produzieren. Als getrockneter Futterzusatz sollen die Algen dereinst als Schluckimpfung für Fische gegen die Bakterienkrankheit Furunkulose zum Einsatz kommen.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Pflanzen noch nicht unter Freilandbedingungen gezogen wurden.

Impfstoffe aus Pflanzen und Algen

In zwei weiteren Projekten wurden neue Wege gesucht, um Impfstoffe in gentechnisch veränderten Pflanzen herzustellen. Die Idee ist nicht neu: Die Entwicklung von GVP für die Produktion von Medikamenten und Impfstoffen begann bereits vor über 20 Jahren und wird mit der unmittelbar bevorstehenden

Zulassung eines Medikaments gegen die Gaucher-Krankheit in den USA eine erste Anwendung finden.^[16] Es wird allgemein erwartet, dass die Produktion biomedizinischer Wirkstoffe gute Chancen hat, von der Bevölkerung eher akzeptiert zu werden als eine Produktion von Nahrungs- oder Futtermitteln – insbesondere dann, wenn die genetisch veränderten Pflanzen in geschlossenen Systemen wie zum Beispiel in Gewächshäusern oder Tanks gezüchtet werden.

Im Projekt *Fischimpfung mit transgenen Grünalgen* programmierten Forscher der Universitäten Genf und Bern die einzellige Alge *Chlamydomonas reinhardtii* genetisch um, damit sie einen Impfstoff gegen eine bakterielle Fischkrankheit produziert. Bakterienkrankheiten sind in der kommerziellen Fischzucht ein grosses Problem, das normalerweise durch die Verfütterung von Antibiotika bekämpft wird. Dies ist aber wegen der Rückstände im Fleisch und der Bildung von Resistenzen sehr problematisch. Die Fische mit einer Impfstoffinjektion zu immunisieren, ist nur bei grossen Fischen wie dem Lachs wirtschaftlich, nicht aber bei kleineren wie beispielsweise der Forelle. Deshalb schien es interessant, den Fischen getrocknete gentechnisch veränderte Algen als Impfstoff in der Nahrung zu verfüttern.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgte das Projekt *Impfstoff aus Tabakpflanzen*. Ziel war es, Proteine des HI-Virus und des

Chloroplasten

Chloroplasten sind Organellen der Zellen von Grünalgen und höheren Pflanzen, die Photosynthese betreiben – also Energie aus Sonnenlicht gewinnen. Sie haben eine eigene DNA, die unabhängig vom Erbgut des Zellkerns nur über den mütterlichen Teil der Pflanze vererbt wird, das heisst über Eizellen und nicht über Pollen. Führt man fremde Gene in Chloroplasten statt ins Erbgut des Zellkerns ein, so schränkt dies die Gefahr einer Auskreuzung durch Pollen praktisch vollständig ein.

Es wird allgemein erwartet, dass die Produktion biomedizinischer Wirkstoffe gute Chancen hat, von der Bevölkerung eher akzeptiert zu werden als die Produktion von Nahrungs- oder Futtermitteln.

Zwar erzielten beide Projekte gute Ausbeuten der Impfstoffe, doch die Immunisierung war bisher nicht erfolgreich.

Hepatitis-C-Virus in Tabakpflanzen zu produzieren und so Impfstoffe für Menschen zu gewinnen.

Beide Forschergruppen schleusten die entsprechenden Gene ins Erbgut der Chloroplasten ein. Diese Zellorganelle wurde unter anderem deshalb als Zielort gewählt, weil sie sich einfach und somit kostengünstig aus den Pflanzen und Algen isolieren lässt.

Zwar erzielten beide Projekte gute Ausbeuten der Impfstoffe. Im Fall der Fischimpfung konnte auch gezeigt werden, dass die Fische den Impfstoff gut vertragen. Die Immunisierung war aber bisher nicht erfolgreich, weshalb weitere Arbeiten nötig wären, um die Projekte zum Ziel zu führen.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

1. Freilandversuche sind nicht nur im Hinblick auf die biologische Sicherheit, sondern auch unter züchterischen Aspekten sehr wichtig, da gewisse Effekte im Gewächshaus gar nicht sichtbar werden.
2. Gemische mehrerer pilzresistenter Linien (Multilinen) erlauben es beim Weizen (und vermutlich bei anderen Pflanzen mit einer hohen Flächendichte), ein breiteres Erregerspektrum abzudecken, Resistenzgene effizient und nachhaltig zu nutzen sowie Nebeneffekte zu reduzieren oder auszuschliessen.
3. Ein Feldabstand von 5 Metern ist genügend, um Auskreuzungen von transgenem Weizen auf konventionellen Weizen zu vermeiden. Dies ist wichtig, wenn es um die Einhaltung der Gentechnikfreiheit in Nachbarmfeldern geht.
4. Die Vermischung von Maissaatgut mit gentechnisch veränderten Körnern sollte höchstens 0,2 bis 0,5 Prozent betragen, damit im Erntegut die Deklarationsgrenze von 0,9 Prozent eingehalten werden kann. Ist die Pollenproduktion der beiden Sorten bekannt, können diese Grenzen allenfalls angepasst werden.
5. Mit dem SAMETH-Modell wurde ein wertvolles Werkzeug geschaffen, mit dem die Wahrscheinlichkeit einer Saatgutverunreinigung beim Mais zuverlässig abgeschätzt werden kann.
6. Um die Wahrscheinlichkeit einer Auskreuzung auf Wildpflanzen zu bestimmen, muss man die Reproduktionsbiologie der entsprechenden Kultur- und Wildpflanzen, deren Durchmischung im Feld sowie die Tendenz zur Auswilderung der Kulturpflanze berücksichtigen. Ob eine Auskreuzung auch ökologische Konsequenzen hat, kann nicht sicher vorausgesagt werden, weshalb ein entsprechendes Monitoring empfehlenswert ist.

LITERATUR

- [1] James, C. (2012) Global status of commercialized Biotech/GM crops: 2011; ISAAA.
- [2] Collinge, D. B., Joergensen, H. J. L., Lund, O. S., Lyngkjær, M. F. (2010) Engineering Pathogen Resistance in Crop Plants: Current Trends and Future Prospects. *Annu Rev Phytopathol* 48, 269-291.
- [3] Brunner, S., Hurni, S., Herren, G., Kalinina, O., von Burg, S., Zeller, S. L., Schmid, B., Winzeler, M., Keller, B. (2011) Transgenic Pm3b wheat lines show resistance to powdery mildew in the field. *Plant Biotechnol J* 9, 897-910.
- [4] Brunner, S., Stirnweis, D., Diaz Quijano, C., Buesing, G., Herren, G., Parlange, F., Barret, P., Tassy, C., Sautter, C., Winzeler, M. et al. (2012) Transgenic Pm3 multilines of wheat show increased powdery mildew resistance in the field. *Plant Biotechnol J* 10, 398-409.
- [5] Zeller, S. L., Kalinina, O., Brunner, S., Keller, B., Schmid, B. (2010) Transgene x environment interactions in genetically modified wheat. *PLoS ONE* 5(7), E11405.
- [6] Heil, M., Hilpert, A., Kaiser, W., Linsenmair, K. E. (2000) Reduced Growth and Seed Set Following Chemical Induction of Pathogen Defence: Does Systemic Acquired Resistance (SAR) Incur Allocation Costs? *J Ecol* 88, 645-654.
- [7] Stokes, T. L., Kunkel, B. N., Richards, E. J. (2002) Epigenetic variation in Arabidopsis disease resistance. *Gene Dev* 16, 171-182.
- [8] Tang, X., Xie, M., Kim, Y. J., Zhou, J., Klessig, D. F., Martin, G. B. (1999) Overexpression of Pto activates defense responses and confers broad resistance. *Plant Cell* 11, 15-29.
- [9] Cellini, F., Chesson, A., Colquhoun, I., Constable, A., Davies, H. V., Engel, K. H., Gatehouse, A. M. R., Kärenlampi, S., Kok, E. J., Leguay, J. J. et al. (2004) Unintended effects and their detection in genetically modified crops. *Food Chem Toxicol* 42, 1089-1125.
- [10] Clements, F. E., Goldsmith, G. W. (1924) The phytometer method in ecology: the plant and community as instruments. Washington, D.C., Carnegie Institution. Publications of the Carnegie Institution.
- [11] Sweet, J., Bartsch, D. (2011) Synthesis and overview studies to evaluate existing research and knowledge on biological issues on GM plants of relevance to Swiss environments. *Literaturstudie Ökologie und Risiko*.
- [12] Foetzi, A., Diaz Quijano, C., Moullet, O., Fammartino, A., Kneubuehler, Y., Mascher, F., Sautter, C., Bigler, F. (2012) Surveying of pollen-mediated crop-to-crop gene flow from a wheat field trial as a biosafety measure. *GM Crops* 3(2), epub. ahead of print.
- [13] Rieben, S., Kalinina, O., Schmid, B., Zeller, S. L. (2011) Gene Flow in Genetically Modified Wheat. *PLoS ONE* 6(12), e29730.
- [14] Allard, R. W. (1999) History of plant population genetics. *Annu Rev Genet* 33, 1-27.
- [15] Oehen, B., Ochsenein, C., Westgate, E., Stamp, P. (2011) Field Simulation of Transgenic Seed Admixture Dispersion in Maize with a Blue Kernel Color Marker. *Crop Sci* 51, 829-837.
- [16] Rybicki, E. P. (2010) Plant-made vaccines for humans and animals. 8, 620-637.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

1.4 Die Wechselwirkungen der gentechnisch veränderten Pflanzen mit ihrer Umgebung

Der Boden ist ein sehr heterogenes Habitat, das feste, gasförmige und flüssige Phasen umfasst. In diesem Habitat bilden die Bodenmikroorganismen, die Bodenfauna und die Pflanzenwurzeln Lebensgemeinschaften, welche für die Bodenfruchtbarkeit von grosser Bedeutung sind. Angesichts der Bedeutung der Bodenorganismen ist es unerlässlich, zu untersuchen, ob gentechnisch veränderte Pflanzen die Lebensgemeinschaften im Boden verändern oder gar schädigen. Im Rahmen der im NFP 59 durchgeführten Untersuchungen konnten keine oder nur sehr geringe Auswirkungen von gentechnisch verändertem Weizen oder Mais festgestellt werden. Sofern vorhanden, lagen die Effekte stets innerhalb der Variabilität zwischen verschiedenen Standorten und Sorten.

JOSEF ZEYER

STUDIEN ZUM ÖKOSYSTEM BODEN

Bei Studien, welche die Interaktionen zwischen Pflanzen und Boden betreffen, sind mehrere Punkte zu beachten:

1. Es darf nicht nur der Einfluss der gentechnisch veränderten Pflanze (GVP) allein geprüft werden, sondern es müssen auch geeignete Referenzpflanzen in die Studien mit einbezogen werden. Jede Pflanze scheidet organische Verbindungen via Wurzeln in den Boden aus. Diese Ausscheidungen stimulieren die Aktivität der Bodenorganismen. Würde nun der Boden im Bereich einer GVP mit unbewachsenem Boden verglichen, ergäben sich irreführende Daten. Deshalb ist es essenziell, nur Böden zu vergleichen, auf denen beispielsweise transgener Mais, eine entsprechende Isolnie und eine konventionelle Maissorte wuchsen.
2. Es ist klar festzulegen, welche Parameter gemessen werden sollen. Es ist möglich, dass im gleichen Versuchsansatz ein Parameter sensitiv reagiert und ein anderer kaum. Je nach Fragestellung werden bei den Bodenorganismen gewisse Strukturen und Funktionen untersucht. Bei den Strukturen geht es unter anderem um die Abundanz (Wie viele Organismen sind vorhanden?), die Diversität (Welche Arten kommen vor?) und die räumliche Anordnung (In welchen Bodenschichten halten sie sich auf?). Bei den Funktionen stehen Fragen nach der Aktivität und der Interaktion mit anderen Organismen im Zentrum.

3. Daten aus dem Labor stimmen nicht unbedingt mit solchen vom Feld überein. Ein Experiment im Feld ist durch viele naturgegebene Faktoren (z. B. Meteorologie, Vielfalt der Insekten, Struktur der Böden) beeinflusst. Im Labor und auch im Gewächshaus können die Umweltbedingungen weitgehend vorgegeben werden. Darum sind Labordaten in der Regel geringeren Schwankungen unterworfen und besser reproduzierbar. Sie dürfen aber nur mit Vorsicht auf die Feldsituation extrapoliert werden.
4. Ein Ökosystem zeichnet sich durch komplexe Wechselwirkungen und Rückkopplungseffekte aus. Das stellt nicht nur hohe Anforderungen an die Konzeption von Experimenten, sondern auch an die Modellierung der gewonnenen Daten. Darum ist es in der Ökologie schwierig, Modelle zu entwickeln, die einen zuverlässigen prognostischen Wert haben.
5. Bei Feldexperimenten unterliegen die gemessenen Werte grossen natürlichen Schwankungen. Beispielsweise kann die Diversität der Bakterien und Pilze im Boden je nach meteorologischen Bedingungen massiv variieren. Beispielsweise können die Populationsdichten von Bodenorganismen von einem Jahr zum anderen um das Tausendfache variieren. Also sind klare Aussagen über die Effekte transgener Pflanzen auf die Bodenökologie nur dann möglich, wenn man die Daten statistisch sorgfältig analysiert und den natürlichen Schwankungen Rechnung trägt.

Im Rahmen des NFP 59 wurden die Effekte transgener Pflanzen auf Bodenorganismen in zahlreichen Systemen untersucht.

EFFEKTE AUF BODENMIKROORGANISMEN

Drei Projekte befassten sich mit dem Einfluss gentechnisch veränderter Pflanzen auf Bodenmikroorganismen.

Das Projekt *Einfluss von gentechnisch verändertem Weizen auf Bodenbakterien* sowie das Projekt *Interaktionen von Wurzelpilzen mit gentechnisch verändertem Weizen* waren Bestandteile des Konsortiums Weizen. In diesen beiden Projekten wurde in einer umfassenden Feldstudie untersucht, inwieweit gentechnisch veränderter Weizen die Populationen bestimmter Bodenbakterien, insbesondere der Pseudomonaden sowie der Mykorrhizapilze, beeinflusst.^{[1][2]} Im Projekt *Auswirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen auf die Fruchtbarkeit von Böden* wurde in einer Laborstudie der Einfluss von gentechnisch verändertem Mais auf Strukturen und Funktionen von Bodenmikroorganismen untersucht.^[3]

Die Versuche mit dem transgenen Weizen liefen über drei Jahre hinweg (2008 bis 2010) in Zürich-Reckenholz und Pully. Die Studien zeigten, dass die Populationsgrößen der untersuchten nützlichen Mikroorganismen nicht primär durch die eingeführten GVP beeinflusst wurden. Entscheidend waren vielmehr Faktoren wie die Weizensorte, das Entwicklungsstadium

Abbildung 1.11: Einfluss von eingeführten Pilzresistenzgenen auf die Anzahl nützlicher Mikroorganismen auf den Wurzeln

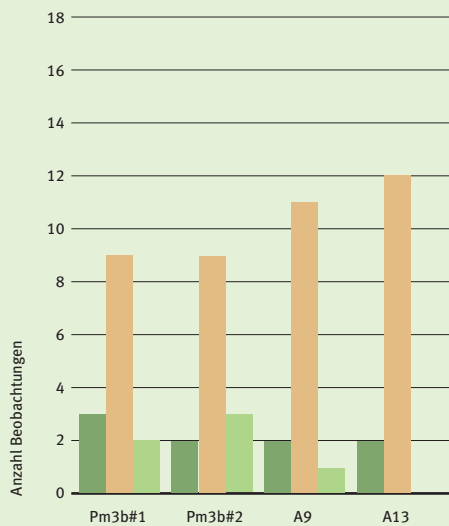
Die Populationen von Pseudomonaden (A) und Mykorrhizapilzen (B) auf den Wurzeln von vier verschiedenen gentechnisch veränderten Weizenlinien wurden mit jenen auf den Wurzeln von Kontrolllinien verglichen. Über drei Jahre hinweg wurden in Feldversuchen an zwei Standorten insgesamt 14 (Pseudomonaden) und 18 (Mykorrhizapilze) Vergleiche zwischen gentechnisch verändertem und nicht gentechnisch verändertem Weizen gemacht.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

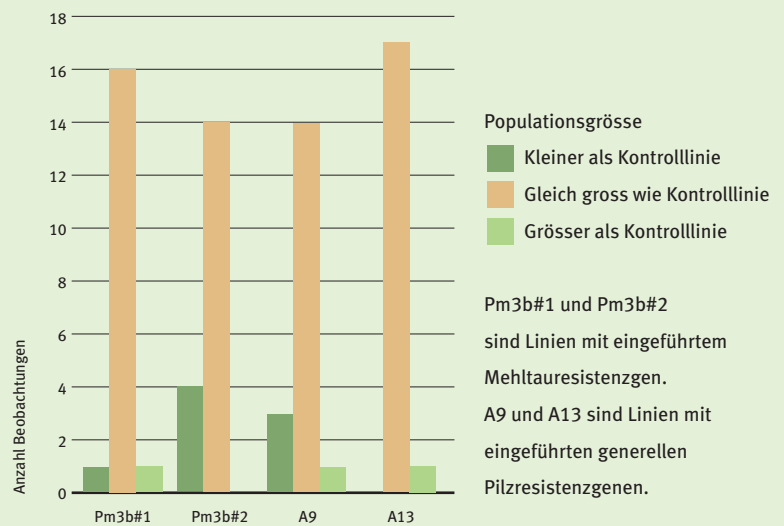
der Vegetation, die Düngierzufuhr, der Standort des Versuches und das Versuchsjahr. Interessanterweise verhielten sich die Populationen der Pseudomonaden und der Mykorrhizapilze oft gegensätzlich. Dieselben Faktoren beeinflussten die einen positiv, die anderen negativ. Zum Beispiel nahmen bei älteren Pflanzen die Mykorrhiza-Populationen stark zu, die Pseudomonas-Populationen aber zumeist ab. Weiter hatte die Düngierzufuhr auf die Pseudomonaden eher einen positiven, auf die Mykorrhizapilze aber einen klar negativen Einfluss.

Zwar konnten zu einzelnen Zeitpunkten Unterschiede zwischen den Populationsgrößen im Boden um gentechnisch veränderten Weizen und Gerste und ihre

A) Wurzelkolonisation durch Pseudomonaden



B) Wurzelkolonisation durch Mykorrhizapilze



nicht gentechnisch veränderten Kontrolllinien festgestellt werden. Diese Unterschiede waren aber nicht konsistent und je nach Versuchsjahr und Ort zum Teil sogar gegensätzlich (siehe Abbildung 1.11). In den meisten Fällen unterschieden sich die Populationsgrössen im Bereich der gentechnisch veränderten Pflanzen aber nicht von den Populationsgrössen im Bereich der nicht transgenen Kontrolllinien. Auch die Diversität der nützlichen Pseudomonaden wurde durch die Einführung des Resistenzgens gegen Mehlttau nicht beeinflusst.

Die Populationsgrösse der nützlichen Mikroorganismen wird nicht primär durch die eingeführten GVP beeinflusst. Entscheidend waren Faktoren wie Pflanzensorte, Düngerezufuhr, Standort und Jahr.

Das Projekt *Auswirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen auf die Fruchtbarkeit von Böden* untersuchte die Effekte verschiedener transgener Maissorten auf bodenbiologische Parameter. Die Versuche wurden über zwei Vegetationsperioden hinweg in Klimakammern durchgeführt. Verglichen wurden zwei verschiedene gentechnisch veränderte Maissorten (Bt-NK4640 und Bt-Max88) mit einer Isolinie (NK4640) sowie sieben konventionellen Maissorten. Als bodenbiologische Parameter dienten die mikrobielle Biomasse, die Bodenatmung

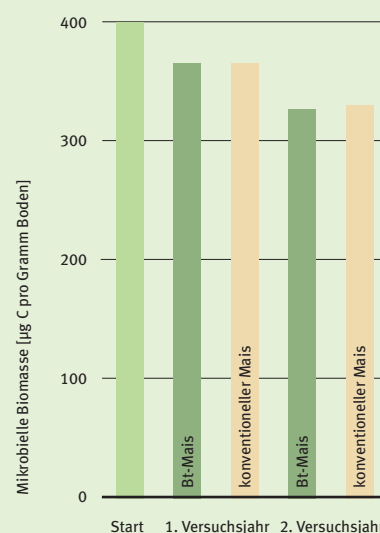
Abbildung 1.12: Einfluss von Bt-Mais auf das Ökosystem «Boden»

Verschiedene bodenbiologische Parameter wurden vor und nach dem Anbau von zwei Bt-Maissorten sowie acht konventionellen Sorten untersucht.

- A) Die Biomasse von Bodenmikroorganismen wurde durch den Anbau von gentechnisch verändertem Mais nicht beeinflusst.
- B) Bt-Mais hatte auf die Bodenatmung eine leicht stimulierende Wirkung, die jedoch statistisch nicht signifikant war.
- C) Die Dehydrogenaseaktivität im Boden war nach dem Anbau von Bt-Mais leicht reduziert.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

A) Mikrobielle Biomasse



und die Aktivität eines Enzyms (Dehydrogenase), das als Mass für die allgemeine biologische Aktivität des Bodens diente.

In keinem der Versuche konnten grosse Effekte der gentechnisch veränderten Pflanzen beobachtet werden (siehe Abbildung 1.12). Im Vergleich zur Isolinie und zu den konventionellen Sorten hatten die GVP keinen Einfluss auf die mikrobielle

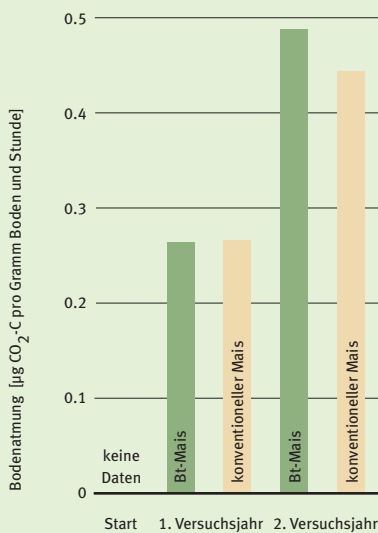
Biomasse und nur einen geringen auf die Bodenatmung und auf die Aktivität der Dehydrogenase.^[3]

Die Effekte von gentechnisch verändertem Mais auf die Bodenökologie unterliegen Schwankungen, gehen insgesamt aber nicht über jene hinaus, die bei konventionellen Maissorten zu beobachten sind.

In demselben Projekt wurde untersucht, ob langfristig verschieden bewirtschaftete Böden gegenüber transgenen Pflanzen ein unterschiedliches Verhalten

zeigen. Als Testsysteme dienten Böden, die über drei Jahrzehnte hinweg konventionell mineralisch, konventionell mit Mist oder bio-organisch respektive bio-dynamisch bewirtschaftet wurden. Die im Versuch eingesetzten Pflanzen umfassten die gentechnisch veränderte Maissorte Bt-NK4640, die Isolinie NK4640 und die konventionelle Sorte «Gavott». Bei den gentechnisch

B) Bodenatmung



C) Dehydrogenaseaktivität



veränderten Sorten mussten die Forscher auf ziemlich alte Sorten zurückgreifen, da die Produzenten neuerer Sorten nicht bereit waren, ihr Saatgut für Experimente zur Verfügung zu stellen.

Die Pflanzen wurden zweimal hintereinander im gleichen Boden kultiviert. Dabei stand die Frage im Vordergrund, ob allfällige Effekte von gentechnisch verändertem Mais in einem biologisch sehr aktiven Boden weniger deutlich auftreten als in einem weniger aktiven. Im Experiment konnten keine spezifischen Effekte beobachtet werden, das heisst, alle Böden reagierten in gleicher Weise auf die Sorten. Im Vergleich zur Isolinie stimulierte der gentechnisch veränderte Mais die mikrobielle Biomasse und die Dehydrogena-

seaktivität geringfügig, während die Bodenatmung nicht signifikant beeinflusst wurde. Die Resultate bestätigen die in der Literatur zu findenden Beobachtungen, dass die Effekte gering und vorübergehend sind.^[4]

EFFEKTE AUF DIE BODENFAUNA

Im Rahmen des Konsortiums Weizen konzentrierte sich das Projekt *Einfluss von gentechnisch verändertem Weizen auf den Abbau von Biomasse durch Bodenorganismen* auf die Effekte von GVP auf die Bodenfauna. Die Arbeiten umfassten Labor- und Feldversuche.^[4]

Im Labor wurden fünf verschiedene Tierarten, die für die Bodenfauna reprä-

sentativ sind, mit gentechnisch veränderten und mit konventionellem Weizen gefüttert. Geprüft wurden Parameter wie Nahrungspräferenz, Nahrungsaufnahme, Wachstum, Mortalität, Vermehrung und Geschlechterverhältnis.

Um mögliche Langzeiteffekte zu erfassen, wurden die Versuche über mehrere Generationen hinweg durchgeführt. In keinem der Versuche traten relevante negative Effekte

auf, die auf den gentechnisch veränderten Weizen zurückgeführt werden könnten. Zwar zeigten sich einige Ausreisser, aber die Befunde wiesen keine Signifikanz über ganze Versuchsreihen hinweg auf.

Im Feld wurde über zwei Jahre hinweg untersucht, ob der transgene Weizen einen Effekt auf die Struktur und die Zusammensetzung der Bodenfauna ausübt. Dazu isolierten die Forscher die Bodentiere mit einem sogenannten McFadyen-Apparat aus den Bodenproben und identifizierten und quantifizierten

sie auf dem Niveau der Ordnung und der Familie. Die Springschwänze wurden bis auf das Niveau der Art unterschieden.

Feldparzellen mit GVP, Isolinien respektive konventionellen Pflanzen zeigten

keine relevanten Unterschiede bezüglich Häufigkeit, Struktur und Artenzusammensetzung (siehe Abbildung 1.13). Bemerkenswert ist, dass die Daten auch hier grossen natürlichen Schwankungen

unterlagen. Einerseits gab es beträchtliche Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Jahren. Andererseits war auch die Variabilität innerhalb des Versuchsfeldes sehr hoch. Dies zeigt, dass bereits geringe Änderungen in der

Textur, im Lehmgehalt und im Wassergehalt des Bodens einen grossen Einfluss auf die Struktur der Bodenfauna haben.

In weitergehenden Versuchen wurde der Streueabbau in den verschiedenen Versuchsfeldern untersucht. Gazebeutel mit einer definierten Menge abgestor-

bener Weizenbiomasse wurden in einer Bodentiefe von 5 Zentimetern über den Sommer hinweg exponiert. Monatlich wurden der Streueabbau quantifiziert und die daran beteiligten Bodentiere wurden identifiziert. Bei

diesen Untersuchungen zeigte sich, dass die gentechnisch veränderten Sorten weder auf die Abbaugeschwindigkeit noch auf die relevanten Bodentiere negative Effekte haben.^{[5][6][7][8]}

Im Labor wie im Feld zeigt die Bodenfauna keine relevanten Unterschiede in ihrer Reaktion auf gentechnisch veränderten Weizen, dessen Isolinien oder konventionelle Sorten.

Markante Unterschiede ergaben sich zwischen verschiedenen Getreidearten, verschiedenen Bereichen des Versuchsfeldes und aufeinanderfolgenden Versuchsjahren.

EFFEKTE AUF ARTHROPODEN UND NAHRUNGSNETZE

Die Lebensgemeinschaften im Boden und über dem Boden bilden in der Regel komplexe Netzwerke. Zum Beispiel können pflanzenfressende Insekten oder deren Larven Pflanzen schädigen. Die Schädlinge selbst werden von räuberischen und parasitischen Insekten oder Würmern in Schach gehalten. Im Rahmen des NFP 59 haben sich das Projekt *Einfluss von gentechnisch verändertem Weizen auf Insektennahrungsnetze* und das Projekt *Interaktionen von Bt-Mais mit dem Bodenökosystem* mit den direkten und indirekten Auswirkungen von GVP auf Pflanzenfresser (Herbivoren) und deren Gegenspieler befasst.

Das erste Projekt ging der Frage nach, inwieweit gentechnisch veränderte Weizenpflanzen mit einer erhöhten Resistenz gegen Mehltau Auswirkungen auf die sie besiedelnde Insektengemeinschaft haben. Dazu wurden neben den transgenen Weizenlinien deren Isolinen, konventionelle Schweizer Weizensorten sowie zwei weitere Getreidearten (Gerste und Triticale) als Referenzen untersucht – dies unter Feldbedingungen und in einem halboffenen Gewächshaus. Das halboffene Gewächshaus gilt als geschlossenes System und erlaubt das Studium von GVP unter Bedingungen, die jenen im Freiland sehr nahe kommen.

Ein Schwerpunkt der Studien lag auf den Herbivoren, die in der Schweiz

häufig auf Weizen vorkommen. Untersucht wurden Blattläuse, von denen sowohl im Feld als auch im Gewächshaus drei verschiedene Arten gefunden wurden, Getreidehähnchen (ein Blattkäfer) sowie eine Getreidehalmfliege, deren Larven in den Stengeln der Weizenpflanzen leben.

Zu beachten ist, dass die in der Studie berücksichtigten Blattläuse von Parasitoiden abgetötet werden können (siehe Abbildung 1.14). Im Feld wurden 13, im Gewächshaus 21 Arten von Parasitoiden gefunden.

Im Freiland fanden die Forscher auf den GVP und auf den Kontrollpflanzen gleich viele Blattläuse. Hingegen entwickelten sich im halboffenen Gewächshaus höhere Blattlauspopulationen auf den transgenen Weizenlinien. Der Grund dafür war jedoch nicht die Tatsache, dass diese Pflanzen gentechnisch verändert waren, sondern der (aufgrund des eingepflanzten Resistenzgens) verminderte Befall durch Mehltau. Dies belegten Folgestudien im Gewächshaus.

Aufgrund der geringen Anzahl an Parasitoiden im Feld wurden statistische Analysen der Nahrungsnetze nur mit den Daten aus dem halboffenen Gewächshaus durchgeführt. Die eingesetzten statistischen Verfahren erlaubten es, die Komplexität und Diversität der Blattlaus-Parasitoiden-Gesellschaften zwischen den Versuchspflanzen zu vergleichen. Die analysierten Parameter umfassten den Artenreichtum sowie die Verbindung zwischen den Arten. Dabei

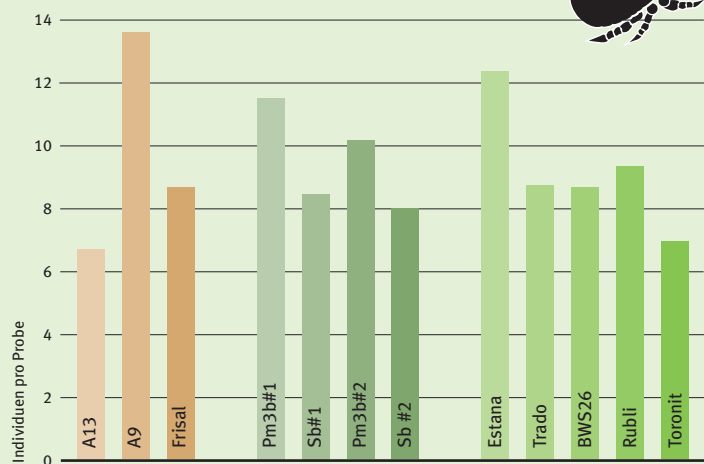
Abbildung 1.13: Häufigkeit von vier Bodentiergruppen bei der Streuezersetzung

Die Bodenfauna wurde in Feldparzellen untersucht, auf denen gentechnisch veränderter Weizen, dessen Kontrolllinien sowie konventionelle Weizensorten wuchsen. Aus den Bodenproben wurden vier Tiergruppen extrahiert und deren Häufigkeit gemessen. Es konnten keine relevanten Unterschiede bezüglich Häufigkeit, Struktur und Artenzusammensetzung gefunden werden. Bemerkenswert ist, dass die Daten grossen natürlichen Schwankungen unterliegen. Es zeigte sich, dass das Versuchsfeld Unterschiede im Lehmgehalt und im Wassergehalt aufwies, was sich in der Struktur der Bodenfauna widerspiegelt.

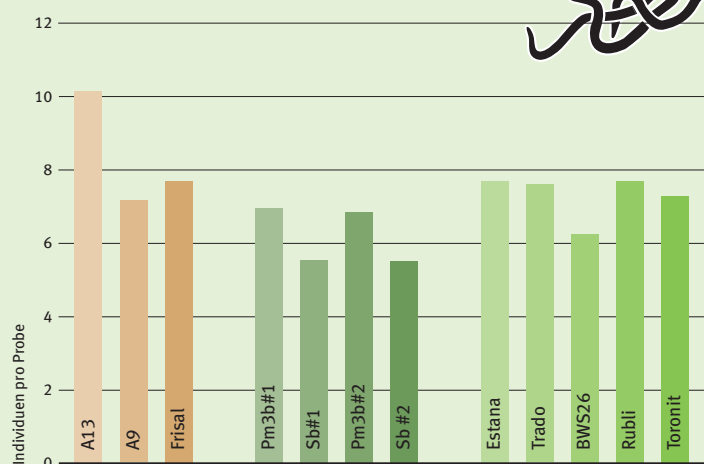
Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Braune Balken: Linien mit allgemeiner Pilzresistenz (A9, A13), Kontrolllinie (Frisal)
Dunkelgrüne Balken: Linien mit Pm3b-Pilzresistenzgen (Pm3b#1, Pm3b#2), Kontrolllinien (Sb#1, Sb#2)
Hellgrüne Balken: konventionelle Weizensorten (Estana, Trado, BWS 26, Rubli, Toronit)

Milben (Cryptostigmata)



Kleine Würmer (Enchytraeidae)



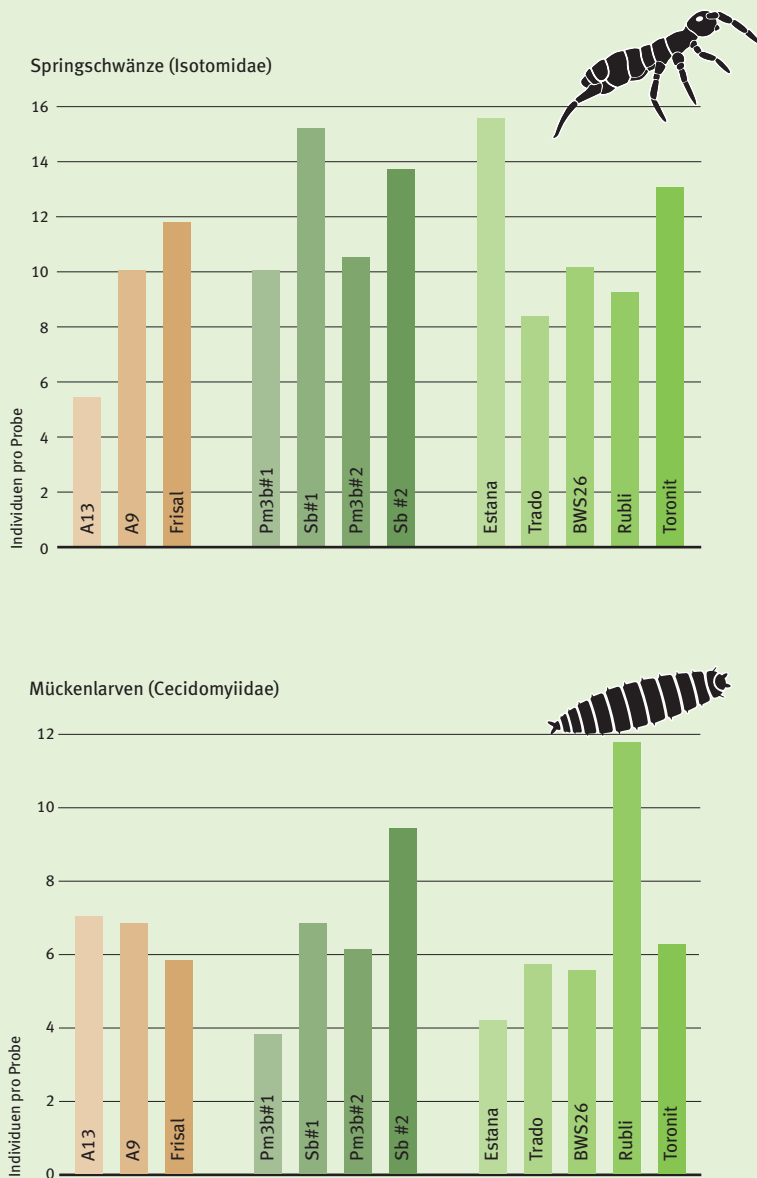
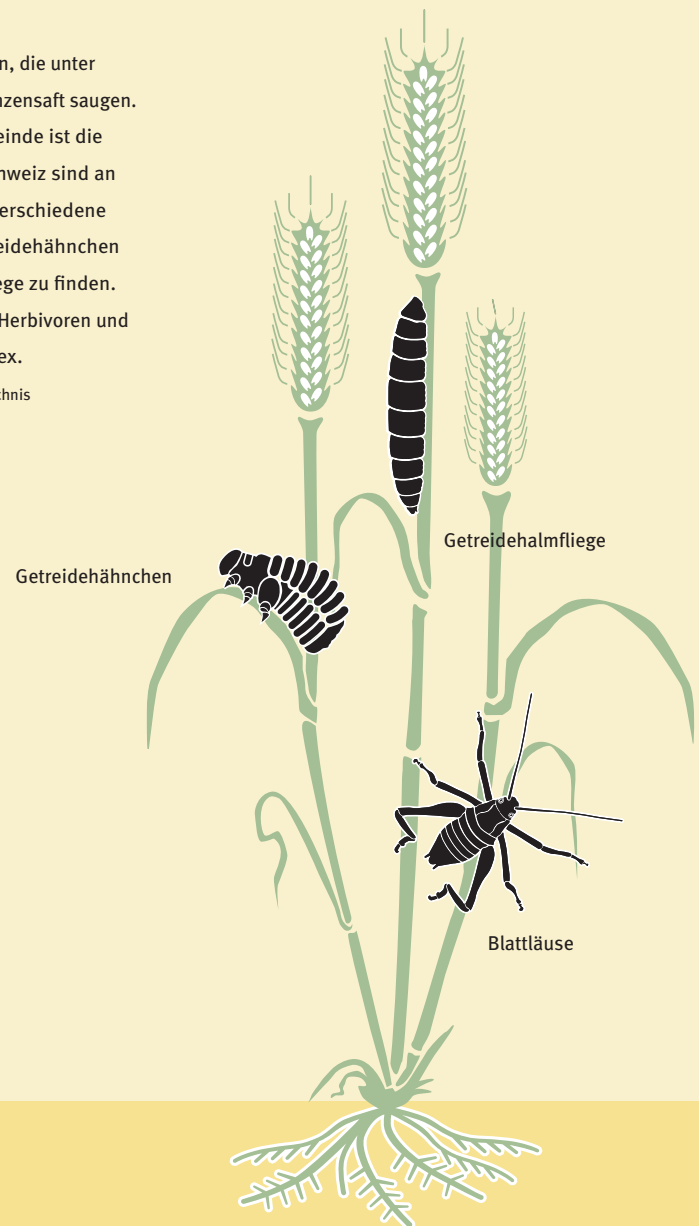
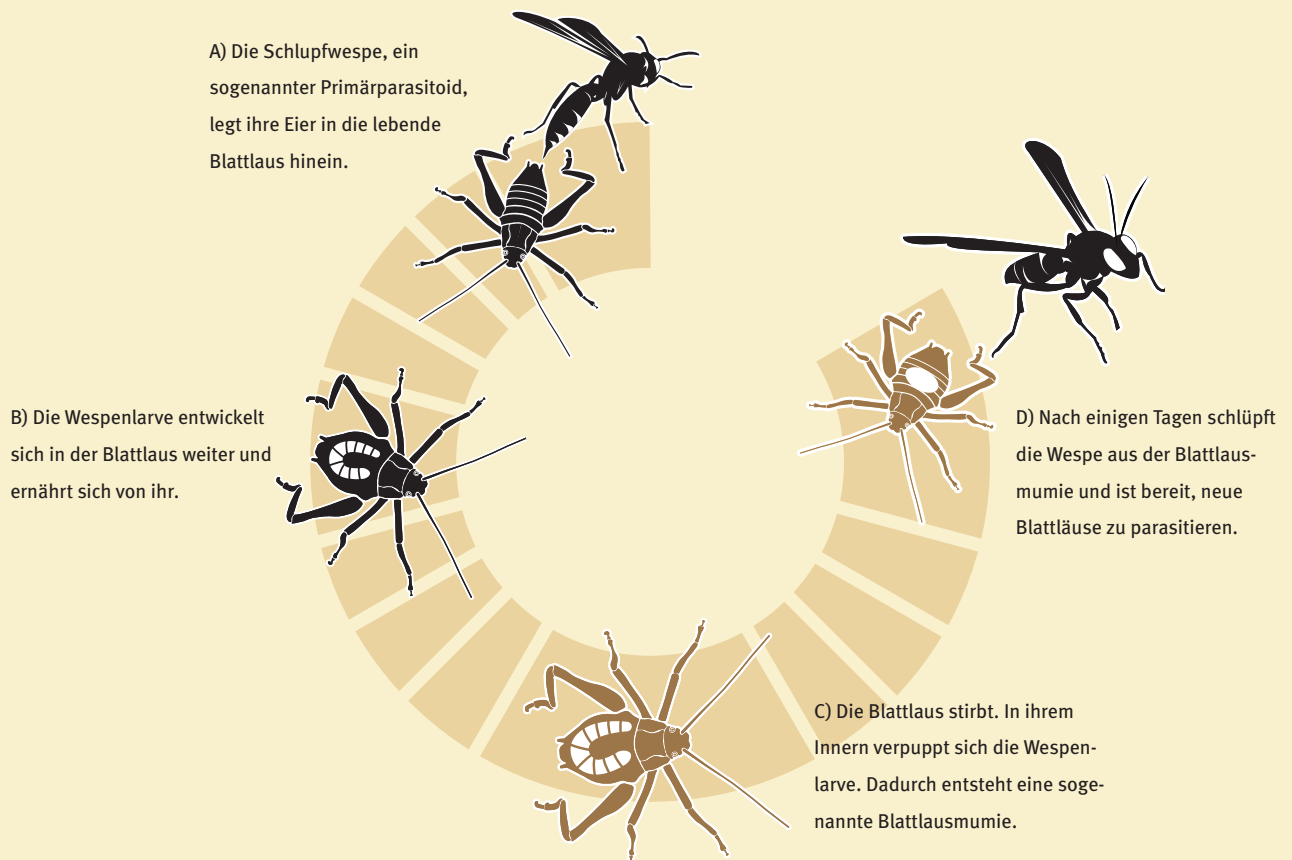


Abbildung 1.14: Beziehungsnetz von Herbivoren und deren Parasiten auf Weizen

Blattläuse sind Herbivoren, die unter anderem auf Weizen Pflanzensaft saugen. Einer ihrer natürlichen Feinde ist die Schlupfwespe. In der Schweiz sind an Weizenpflanzen häufig verschiedene Blattlausarten, das Getreidehähnchen und die Getreidehalmfliege zu finden. Das Beziehungsnetz von Herbivoren und Parasiten ist sehr komplex.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis





wurden keine konsistenten Unterschiede in den Nahrungsnetzen zwischen den verschiedenen Versuchspflanzen gefunden.^{[9][10]}

Die Studie belegt, dass es sehr wichtig ist, Versuche in verschiedenen Testsystemen durchzuführen. Daten, die im Labor oder im Gewächshaus gewonnen werden, können nur bedingt auf das Freiland übertragen werden. So war beispielsweise der Mehltaubefall im halboffenen Gewächshaus sehr viel höher als im Freiland. Auch wurden im halboffenen Gewächshaus mehr Blattlaus-Parasitoiden gesammelt. Im Gegensatz dazu war der Befall der Versuchspflanzen mit Getreidehähnchen im halboffenen Gewächshaus niedriger als im Feld und die Getreidehalmfliege trat gar nicht auf (siehe Abbildung 1.15).^[10]

Das Projekt *Interaktionen von Bt-Mais mit dem Bodenökosystem* widmete sich den Interaktionen von transgenem Mais mit ober- und unterirdischen Netzwerken (siehe Abbildung 1.16). Maiswurzeln können im Boden durch den Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*) angefrassen werden. Der Maiswurzelbohrer ist der bedeutendste Schädling in den USA und er breitet sich seit zwei Jahrzehnten auch in Europa aus. Als Reaktion auf die Schädigung produziert die Maispflanze einen Duftstoff (das (E)-Beta-Karyophyllen), der insbesondere Fadenwürmer der Art *Heterorhabditis megidis* anlockt. Diese Fadenwürmer sind natürliche Feinde des Maiswurzel-

Abbildung 1.15: Befall verschiedener Weizenlinien mit pathogenen Pilzen und Parasiten

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis



Mehltau

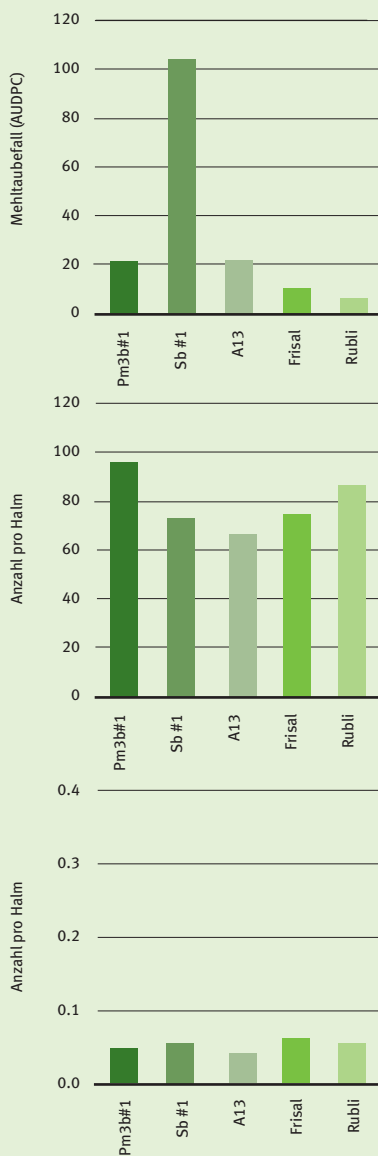


Blattläuse

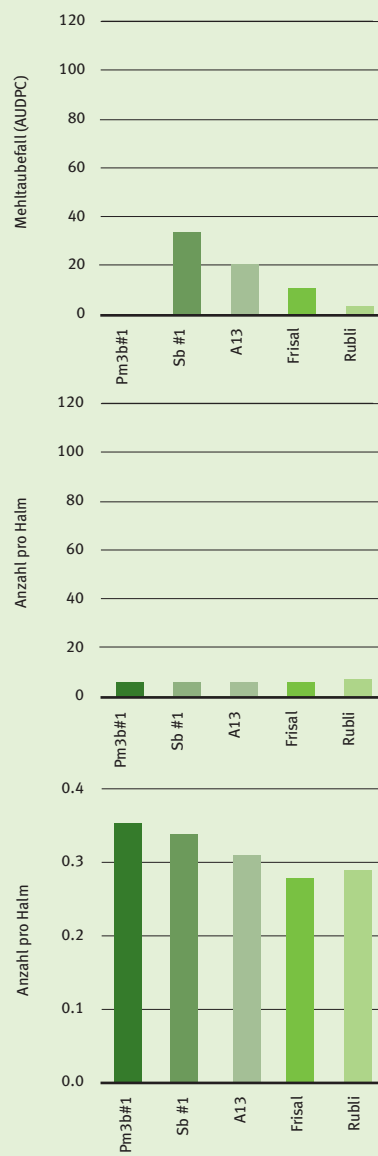


Getreidehähnchen

Halboffenes Gewächshaus



Feld



bohrers und werden in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt.

Über dem Boden spielen ähnliche Mechanismen: Maisblätter können von bestimmten Schmetterlingsraupen (*Spodoptera littoralis*) angefressen werden. Als Reaktion produziert die Pflanze einen Duftstoff, der parasitoide Wespen (*Cotesia marginiventris*) anlockt, welche die Schmetterlingsraupen befallen und so den Schädling in Schach halten.

In einer ersten Fragestellung untersuchten die Forschenden, ob das ober- und unterirdische Netzwerk auch bei gentechnisch veränderten, schädlingsresistentem Mais funktioniert. Dieser Projektteil wurde in einer Klimakammer in der Schweiz bearbeitet. In einer zweiten Fragestellung prüften sie, ob sich bei gleichzeitigem Einsatz

von schädlingsresistentem Mais und Fadenwürmern die Wirkungen addieren oder gegenseitig abschwächen. Dieser Projektteil wurde in einem Feldversuch in den USA durchgeführt. Zur Verwendung kamen eine transgene Mais-Linie, die das für den Maiswurzelbohrer toxische mCry3A-Protein produziert, eine Linie, welche das Cry1Ab-Protein produziert, das für Schmetterlingsraupen toxisch ist sowie eine Linie, welche beide Proteine produziert. Diese Linien wurden mit der entsprechenden Isolinie

(NG68-GT) und der konventionellen Maissorte «Delprim» verglichen.

Die Experimente in der Klimakammer ergaben, dass Maiswurzelbohrer-Larven mehr an Gewicht zunahmen, wenn gleichzeitig an derselben Pflanze Schmetterlingsraupen frassen. Hingegen wurden die Raupen durch die Anwesenheit von Maiswurzelbohrer-Larven nicht beeinflusst.

Wurden Maispflanzen gleichzeitig vom Maiswurzelbohrer und von Schmetterlingsraupen befallen, waren die gentechnisch veränderten Linien für die parasitoiden Wespen weniger attraktiv als die

Isolinien. Der Grund liegt darin, dass Cry1Ab auf die Schmetterlingsraupe toxisch wirkt und dadurch die Pflanze durch die Raupe weniger geschädigt wird. Dies wiederum führt zu einer reduzierten Duftstoffemission und da-

mit zu einer verminderten Anlockung der parasitoiden Wespen. Im Gegensatz dazu wurden zwischen gentechnisch veränderten Maissorten und der Isolinie keine Unterschiede in der Anlockung von Fadenwürmern gefunden.

Im Feldversuch zeigte sich, dass die mCry3A-exprimierenden transgenen Maissorten sowohl verminderte Schäden an den Wurzeln als auch ein geringeres Auftreten von adulten Maiswurzelbohrern aufwiesen. Wenn zusätzlich noch Fadenwürmer eingesetzt wurden, reduzierte dies

Daten, die im Labor oder Gewächshaus gewonnen werden, können nur bedingt auf das Freiland übertragen werden. Darum ist es wichtig, Versuche in verschiedenen Testsystemen durchzuführen.

Abbildung 1.16: Beziehungsnetz von Herbivoren und deren Parasiten auf Mais

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

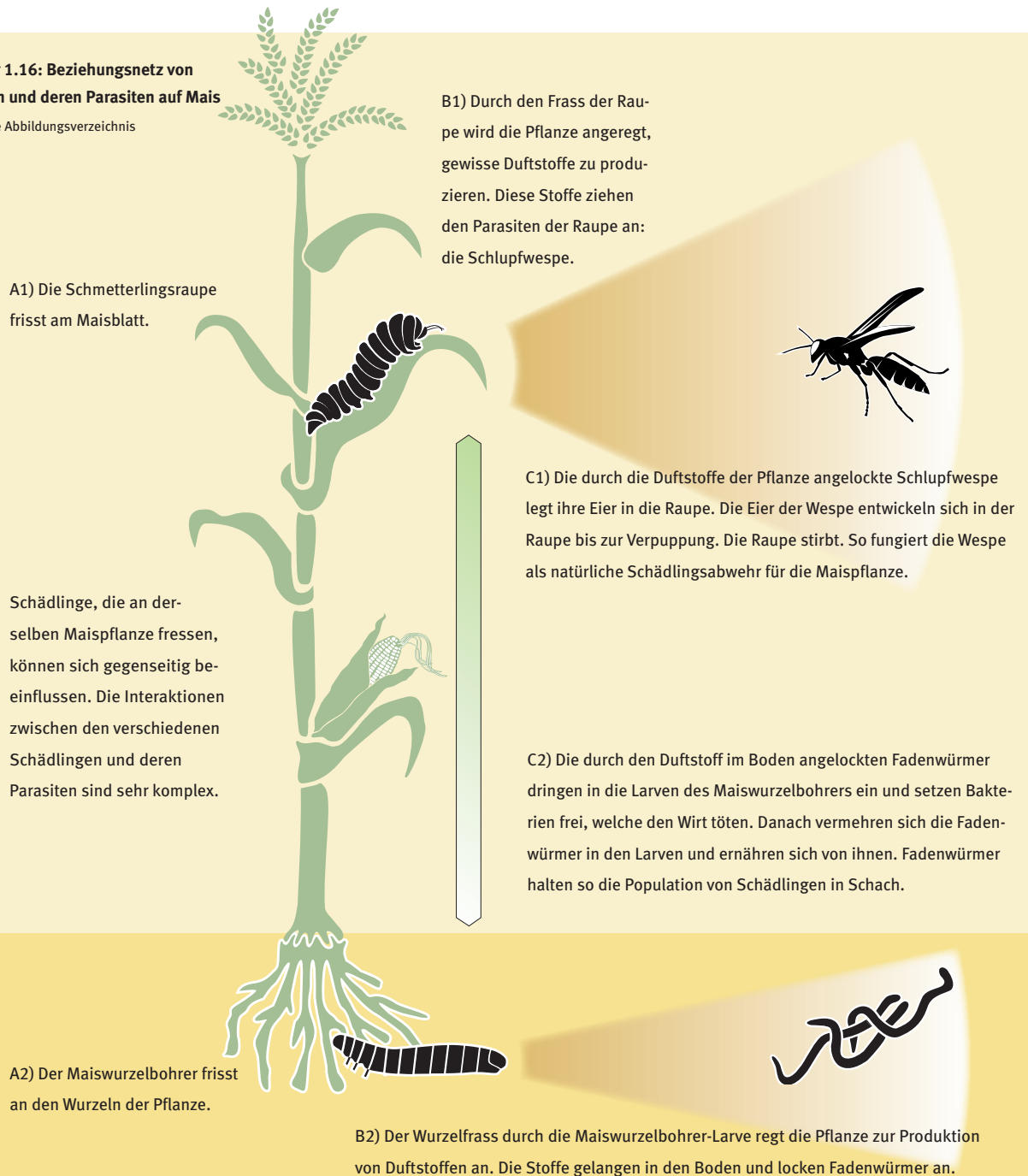
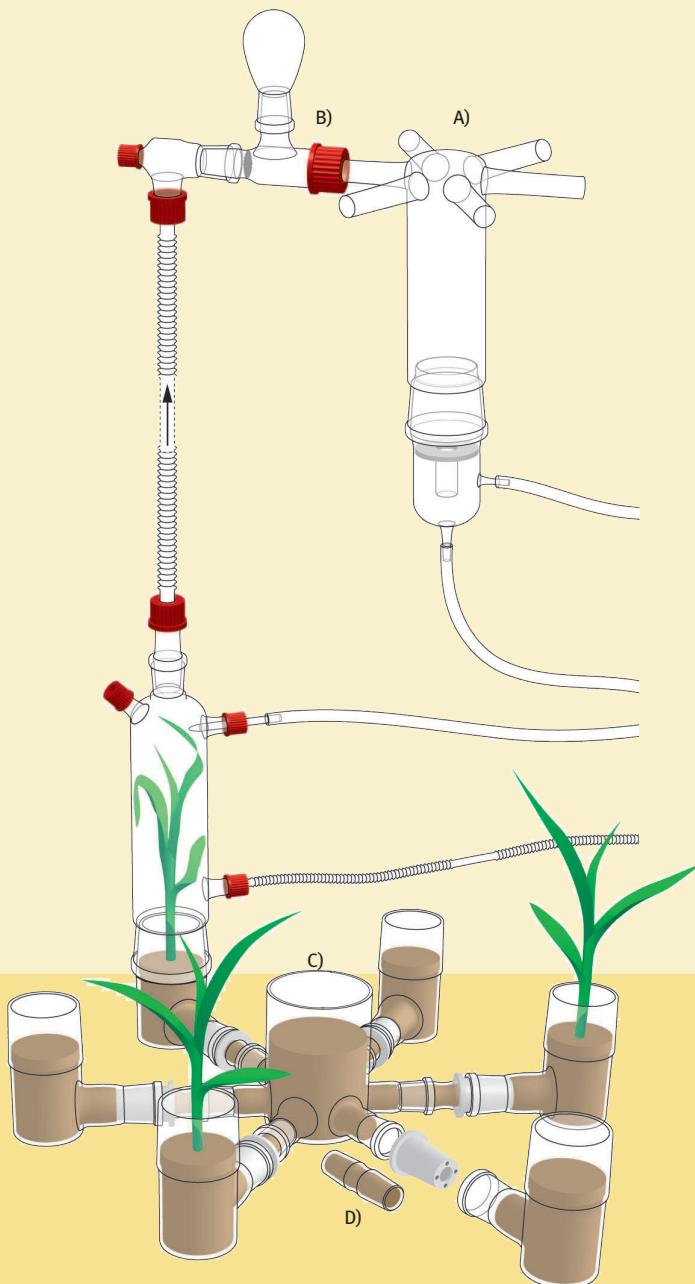


Abbildung 1.17: Messgerät für Duftstoffe – der Olfaktometer



Der Olfaktometer ermöglicht das gleichzeitige Testen der Attraktivität von Mais für oberirdische und unterirdische natürliche Feinde. Von Schädlingen befallene sowie unbehelligte Pflanzen befinden sich in den Armen des Gerätes; leere Arme dienen als Kontrolle. Die oberirdischen Parasitoiden wie zum Beispiel Schlupfwespen werden in den luftgefüllten Armen freigelassen (A) und die Duftemission wird gemessen. Nach einer halben Stunde wird gezählt, wie viele Parasitoiden welchen Arm gewählt haben (B). Im mit Sand gefüllten unterirdischen Teil werden die Fadenwürmer in die Mitte gesetzt und (C) nach 24 Stunden wieder aus jedem Arm extrahiert (D). Zur selben Zeit werden auch die Wurzeln entnommen und deren Duftstoffproduktion ermittelt. So können die Interaktionen zwischen Pflanze, Schädlingen und Parasitoiden analysiert werden.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

die Wurzelschäden bei der Maissorte «Delprim», nicht jedoch bei den gentechnisch veränderten Maislinien und deren Isolinie. Warum das so ist, vermochten weiterführende Studien im Labor zu erklären: Sowohl die gentechnisch veränderten Linien als auch die Isolinie produzierten weniger Duftstoff als die konventionelle Sorte «Delprim». Das Phänomen erklärt sich also durch Unterschiede zwischen den Varietäten und ist nicht auf die gentechnische Veränderung zurückzuführen.

Zusammenfassend zeigen diese Studien, dass sich verschiedene Schädlingsarten, die an derselben Maispflanze fressen, gegenseitig beeinflussen können. Das kann sich im Feld auf die Populationsentwicklung der Schädlinge auswirken. Das Zusammenspiel ist sehr komplex und umfasst verschiedene Faktoren: oberirdische und unterirdische Schädlinge und deren Feinde, Anlockung durch Duftstoffe sowie je nach Sorte verschieden ausgeprägte Effekte. Solche Netzwerke sind für das Funktionieren von Ökosystemen sehr wichtig und sie sollten daher durch gentechnisch veränderte Pflanzen nicht nachhaltig gestört werden.

TESTSYSTEME UND INNOVATIVE METHODEN

Das NFP 59 hatte nicht nur das Ziel, die Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenbiotechnologie unter den in der Schweiz geltenden Bedingungen zu studieren, sondern es sollte auch Verfahrensstandards für die Risikoforschung

und das Monitoring entwickeln. Dabei sind in mehreren Forschungsprojekten innovative Konzepte und Methoden entwickelt worden, die in Zukunft nicht nur im Bereich der Pflanzenbiotechnologie, sondern auch in anderen Forschungsgebieten angewendet werden können. Aus naheliegenden Gründen können an dieser Stelle nicht alle Innovationen im Detail aufgelistet werden. Zur Illustration wird je ein Projekt aus den Gebieten Bodenzoologie, Analytik und Bodenchemie beschrieben.

Bodenzoologie

Die Bodenzoologie beschäftigt sich mit komplexen Beziehungsnetzen im Untergrund. Bei Studien im Labor kann man aber nicht mit allen Organismen gleich intensiv arbeiten, sondern muss sich auf sogenannte Modellarten konzentrieren. Bei der Auswahl dieser Modellarten gilt es unter anderem zu berücksichtigen, dass die gewählten Arten für das Ökosystem repräsentativ, an wesentlichen Prozessen beteiligt und im Labor gut zu halten sind und sich die natürlichen Populationschwankungen in Grenzen halten. Das Projekt *Einfluss von gentechnisch verändertem Weizen auf den Abbau von Biomasse durch Bodenorganismen* hat sich mit der Auswahl von Modellorganismen beschäftigt. Es ist gelungen, für das Studium der Effekte von transgenen Pflanzen Modellarten auszuwählen, die den genannten Kriterien genügen und reproduzierbare Ergebnisse liefern. Die Modellarten umfassen Fliegenlarven (*Drosophila*

melanogaster und *Megaselia scalaris*), Asseln (*Porcellio scaber*) sowie Würmer (*Enchytraeus albidus* und *Lumbricus terrestris*). Die einen sind wichtig für den Abbau von toter organischer Substanz, die anderen für den Transport von Substanzen im Boden. Mit den ausgewählten Würmern lassen sich zudem das Reproduktionsverhalten (*E. albidus*) und die individuelle Futterwahl (*L. terrestris*) gut studieren.^[8]

Analytik

Das Studium der Reaktion von Netzwerken auf Duftstoffe stellt hohe Anforderungen an die Messapparatur und die chemische Analytik. Im Projekt *Interaktionen von Bt-Mais mit dem Bodenökosystem* wurde ein sogenannter Olfaktometer entwickelt, mit dem es möglich wurde, die Attraktivität von transgenem und konventionellem Mais für oberirdische und unterirdische Feinde zu erfassen (siehe Abbildung 1.17).^{[11][12]}

Bodenchemie

Aus dem Blickwinkel der Bodenchemie ist bei gentechnisch verändertem Mais nicht nur die Toxizität der Cry-Proteine von Interesse, sondern auch deren Verhalten bei vielen Transport- und Transformationsprozessen. Dabei spielt die Adsorption (d. h. das Anhaften) der Cry-Proteine an Partikeloberflächen eine wichtige Rolle. Je stärker das Cry-Protein im Boden an Partikeloberflächen adsorbiert, desto weniger wird es mit dem Wasser transportiert, das nach einem Regenereignis den

Boden infiltriert. Es darf angenommen werden, dass die Adsorption die Stabilität des Cry-Proteins im Boden erhöht, da proteinabbauende Enzyme die adsorbierten Proteine weniger gut angreifen können. Ausserdem reduziert die Adsorption die Konzentration der Cry-Proteine in der Bodenlösung und damit die Exposition der Organismen im Boden.

Traditionellerweise wird die Adsorption von Proteinen bestimmt, indem die Proteine in eine wässrige Bodensuspension gegeben und gut eingemischt werden. Nach einer vorgegebenen Zeit wird die Menge der Proteine in der Bodenlösung bestimmt. Die adsorbierte Menge wird dann aus der Differenz zwischen der zugegebenen Menge und der Menge in der Bodenlösung errechnet. Dieser Ansatz ist jedoch fragwürdig, weil es neben der Adsorption andere Prozesse gibt (insbesondere Abbauprozesse), die zu einer Abnahme der Proteinkonzentration in der Bodenlösung führen. Zudem enthält der Boden unzählige mineralische (z. B. Quarz, Tonminerale und Eisenoxide) und organische (z. B. Huminsäuren, abgestorbene Wurzeln) Bestandteile und es lässt sich mit der traditionellen Adsorptionsmessung nicht bestimmen, an welche Oberflächen das Protein anhaftete und ob die Adsorption umkehrbar ist.

Im Projekt *Anhaftung von Bt-Proteinen an mineralische und organische Bodenoberflächen* wurde ein völlig neuer Ansatz zur Bestimmung der Adsorption gewählt.

Als Studienobjekt wurde das Cry1Ab-Protein gewählt. Das Herzstück der neuen Messanordnung ist eine sogenannte «Schwingquarzwaage» mit einem piezoelektrischen Quarzsensoren. Dieser Sensor kann mit einer hochfrequenten Wechselspannung in Schwingung gebracht werden, wobei die Frequenz der Schwingung von der Masse des Sensors abhängt und bei mehreren hunderttausend Schwingungen pro Sekunde liegt. Haften nun Cry1Ab-Proteine an der Oberfläche des Sensors, nimmt die schwingende Masse geringfügig zu und die Schwingfrequenz ab. Die Abnahme der Frequenz wird von der Messelektronik registriert und ist ein Mass für die Intensität der Adsorption. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Verfahren entwickelt, welche die Oberflächen der Sensoren so modifizieren, dass sie die wichtigsten mineralischen und organischen Partikeloberflächen in Böden repräsentieren. Es ist gelungen, natürliche gelöste organische Substanzen aus Böden auf den Sensoren zu immobilisieren und damit die Adsorption von Cry-Proteinen bei verschiedenen Umweltbedingungen zu untersuchen.^{[13][14][15]}

Diese Erkenntnisse könnten beispielsweise genutzt werden, um die Pufferlösungen zu optimieren, die zur Extraktion von Cry-Proteinen aus Böden eingesetzt werden. Die Daten werden erlauben, den Transport, den Verbleib und die Toxizität der Cry-Proteine in landwirtschaftlichen Böden mit grösserer Genauigkeit vorherzusagen.

EFFEKTE VON GVP AUF DIE NACHHALTIGKEIT VERSCHIEDENER ANBAUSYSTEME

LUCIUS TAMM

Die Auswirkungen einer Einführung von GVP auf die in der Schweiz vorherrschenden landwirtschaftlichen Anbausysteme wurden im Projekt *Vergleich von GVP in konventioneller, integrierter und biologischer Landwirtschaft* untersucht.^[16] Dabei gingen die Forschenden davon aus, dass es keine Bedenken gegen den Anbau von GVP gäbe.

Analysiert wurden typische schweizerische Ackerbau-Fruchtfolgen und die Dauerkultur Kernobst (Apfel), wobei sowohl agrarökologische als auch sozioökonomische Auswirkungen erfasst wurden (Letztere sind im Kapitel 2.1 dargestellt).

Für den Ackerbau und die Dauerkultur Kernobst wurden die bekannten sowie die sich in Markteinführung befindenden GVP einem Ex-ante-Assessment unterzogen. Die Indikatoren dafür ermittelten die Forschenden aus der wissenschaftlichen Literatur sowie mithilfe verschiedener Experten-Workshops, an denen Wissenschaftler und Berater teilnahmen, welche vertiefte Kenntnis der drei Anbausysteme haben.

Herbizidtoleranz

Die Auswertung zeigt, dass in ackerbauartigen Fruchtfolgen die Herbizidtoleranz die grössten Auswirkungen auf die agronomische Praxis sowohl konventioneller als auch integrierter Anbausysteme haben könnte. Hier würden herbizidtolerante

In ackerbaulichen Fruchtfolgen hätte die Herbizidtoleranz die grössten Auswirkungen auf die agronomische Praxis sowohl konventioneller als auch integrierter Anbausysteme.

Kulturpflanzen andere Unkrautbekämpfungsmassnahmen und eine veränderte Bodenbewirtschaftung ermöglichen. Insbesondere der Wechsel von einer inten-

siven Bodenbearbeitung durch den Pflug auf eine konservierende Methode wie die Direktsaat hätte verschiedene ökologische Vorteile: reduzierte Mobilität von Nitrat-Stickstoff, Sta-

bilisierung der organischen Substanz im Boden sowie Verminderung der Erosion.

Jedoch kann die stark verbesserte Effizienz der Unkrautbekämpfung durch die bei herbizidtoleranten Pflanzen eingesetzten Totalherbizide zu einer Verminderung der biologischen Vielfalt an Pflanzen und Tieren in den Feldern führen. Dieser Effekt wird zusätzlich durch unsachgemässe Anwendung der Herbizide oder durch mangelhafte landwirtschaftliche Praxis verstärkt.

Diese Vor- und Nachteile dürften sich über eine gesamte Fruchtfolge verstärken, da der Anteil an herbizidtoleranten Kulturen in den Fruchtfolgen hoch ist.

Für das biologische Anbausystem haben die herbizidtoleranten Kulturpflanzen keine Relevanz, da Herbizide dort ohnehin nicht angewendet werden.

Krankheitsresistenz

Im Ackerbau brächte eine Resistenz der Kulturpflanzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen in keinem der drei Anbausysteme (konventionell, integriert, biologisch) eine nennenswerte Verbesserung der Bewirtschaftung und der ökologischen Qualität. Denn bereits heute gibt es auch ohne GVP gute Regulierungsmöglichkeiten und dank traditioneller Züchtungsmethoden ausreichende Resistenzen.

Hingegen hätten in Kernobstanlagen gentechnisch veränderte Äpfel mit Schorf- und Feuerbrandresistenz in allen Anbausystemen einen positiven Effekt auf die natürlichen Ressourcen und auf die lokale Ökologie. Dieser Effekt kommt zustande, da erstens die geringere Anzahl von Durchfahrten mit dem Spritzgerät die

Bodenbelastung reduziert und zweitens die Belastung der Umwelt mit Pestiziden abnimmt. Der gleiche Effekt wird auch durch den Anbau traditionell gezüchteter schorffresistenter Apfelsorten erzielt, wie sie heute schon auf 42 Prozent aller Bio-Apfel-

flächen angebaut werden.

Die Studie zeigte auch, dass agrarökologische (wie auch agrarökonomische) Effekte von GVP stark von den Anbausystemen und den Umweltbedingungen abhängig sind und nicht generalisiert werden können.

Resistenz gegenüber Krankheiten und Schädlingen brächte im Ackerbau weder im konventionellen oder integrierten noch im biologischen Anbau eine nennenswerte Verbesserung der Bewirtschaftung und der ökologischen Qualität.

LITERATUR

- [1] Meyer, J. B., Lutz, M. P., Frapolli, M., Péchy-Tarr, M., Rochat, L., Keel, Ch., Défago, G., Maurhofer, M. (2010) Interplay between Wheat Cultivars, Biocontrol Pseudomonads, and Soil. *Appl Environ Microb* 76, 6196-6204.
- [2] Song, W. Y., Wiemken, A., Boller, T. (2010) Interplay of arbuscular mycorrhizal fungi with transgenic and nontransgenic wheat. *IOBC/wprs Bulletin* 52, 91-95.
- [3] Fliessbach, A., Messmer, M., Nietlispach, B., Infante, V., Mäder, P. (2011) Effects of conventionally bred and Bt maize varieties on soil microbial biomass and activity. *Biol Fert Soils* 48, 315-324.
- [4] Maeder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U. (2002) Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296, 1694-1697.
- [5] Peter, M., Lindfeld, A., Nentwig, W. (2010) Does GM wheat affect saprophagous Diptera species (*Drosophilidae*, *Phoridae*)? *Pedobiologia* 53, 271-279.
- [6] Bigler, I., Nentwig, W., Lindfeld, A. (2011) Food preference in the woodlouse *Porcellio scaber* (Isopoda) in a choice test with fungicidal GM wheat. *J Appl Entomol* 136, 51-59.
- [7] Lindfeld, A., Lang, C., Knop, E., Nentwig, W. (2011) Hard to digest or a piece of cake? Does GM wheat affect survival and reproduction of *Enchytraeus albidus* (Annelida: Enchytraeidae)? *Appl Soil Ecol* 47, 51-58.
- [8] Duc, C., Nentwig, W., Lindfeld, A. (2011) No adverse effect of GM antifungal wheat on decomposition dynamics and the soil fauna community - A field study. *PLoS ONE* 6.
- [9] von Burg, S., van Veen, F. J. F., Alvarez-Alfageme, F., Romeis, J. (2011) Aphid-parasitoid community structure on genetically modified wheat. *Biol Letters* 7, 387-391.
- [10] Alvarez-Alfageme, F., von Burg, S., Romeis, J. (2011) Infestation of transgenic powdery mildew-resistant wheat by naturally occurring insect herbivores under different environmental conditions *PLoS ONE* 6.
- [11] Turlings, T. C. J., Davison, A., Tamò, C. (2004) A six-arm olfactometer permitting simultaneous observation of insect attraction and odour trapping. *Physiol Entomol* 29, 45-55.
- [12] Rasmann, S., Köllner, T. G., Degenhardt, J., Hiltbold, I., Töpfer, S., Kuhlmann, U., Gershenzon, J., Turlings T. C. J. (2005) Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots. *Nature* 434, 732-737.
- [13] Sander, M., Madliger, M., Schwarzenbach, R. P. (2010) Adsorption of transgenic insecticidal Cry1Ab Protein to SiO₂. 1. Forces driving adsorption. *Environ Sci Technol* 44, 8870-8876.
- [14] Sander, M., Madliger, M., Schwarzenbach, R. P. (2010) Adsorption of transgenic insecticidal Cry1Ab Protein to SiO₂. 2. Patch-controlled electrostatic attraction. *Environ Sci Technol* 44, 8877-8883.
- [15] Sander, M., Madliger, M., Schwarzenbach, R. P. (2011) Adsorption of transgenic insecticidal Cry1Ab protein to quartz particles. Effects on transport and bioactivity. *Environ Sci Technol* 45, 4377-4384.
- [16] Speiser, B., Stolze, M., Oehen, B., Gessler, C., Weibel, F., Bravin, E., Kilchenmann, A., Widmer, A., Charles, R., Lang, A., Stamm, C., Triloff, P., Tamm, L. (2012) Sustainability assessment of GM crops in a Swiss agricultural context. *Agron Sustain Dev*, DOI 10.1007/s13593-012-0088-7.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

Gentechnik: Ursprung, Konzept, Risikoevaluation und Zukunftspotenzial

Dank der Gentechnik zeichnen sich massgebliche Vorteile für die Entwicklung nicht nur der Biotechnologie, sondern auch der Landwirtschaft ab. Früher war man in der Nutzung biologischer Rohstoffe genötigt, die in der Natur vorkommenden Arten für die landwirtschaftliche Nutzung zu verwenden oder diese allenfalls mittels Selektion und weitgehend unkontrollierter Mutagenese zu verbessern. Heute ist es möglich, wenige für bestimmte Genfunktionen zuständige DNA-Abschnitte in die zur Nutzung am besten geeigneten Organismen einzubringen.

Die Geschichte der Gentechnik

Während die Gentechnik wesentlich zu den heutigen Kenntnissen in der Genomik beigetragen hat und weiterhin beiträgt, verdankt sie ihre eigene Entwicklung vornehmlich der Forschung in der mikrobiellen Genetik. Den Anfang markiert im Jahr 1944 die Entdeckung, dass die Desoxyribonukleinsäure (DNA) der Träger der Erbinformation ist. Schliesslich brachte die strukturelle Erforschung der DNA 1953 deren Beschaffenheit ans Licht: Es handelt sich um ein fadenförmiges Molekül mit einer Doppelhelixstruktur, welche dank der Nukleotidpaarung zwischen den zwei Strängen die zuverlässige Vermehrung dieses Moleküls sichert. Ebenfalls in den 1950er-Jahren fand man heraus, dass bakterielle Viren und Plasmide, das heisst sich autonom vermehrende, kleine DNA-Moleküle, als natürliche Überträger von Genen fungieren. Sie sind in der Lage, Teile der Erbinformation ihres letzten Wirtes auf einen neuen Wirt zu übertragen. In gewissen Fällen wird die auf der übertragenen DNA enthaltene Erbinformation im neuen Wirt auch vermehrt und exprimiert.

Auf diesen Kenntnissen beruht die Gentechnik: die Idee also, aus dem sehr grossen Genom eines Organismus ein kurzes Segment heraus zu trennen, dieses in vitro in einen Genvektor hineinzukleben, um dann das so entstandene Hybridmolekül in einen geeigneten Wirt zu bringen, wo es sich vermehren und seine Funktion entfalten kann.

Ein unerwarteter Beitrag zu diesem Forschungsansatz kam aus der ab 1960 erfolgten Aufklärung von bakteriellen Restriktions- und Modifikationssystemen: Die einem Bakterium eigenen Restriktionsenzyme erkennen, ob von aussen in die Zelle eindringende DNA fremden Ursprungs ist oder von einem Bakterium der gleichen Art stammt. Als

Werner Arber

Professor Emeritus, Abteilung für Molekulare Mikrobiologie
Universität Basel

«fremd» erkannte DNA wird in Fragmente zerschnitten, welche dann relativ schnell durch sogenannte Exonukleasen in ihre Bausteine zerlegt werden. Diese Erkenntnis brachte die Idee der Gentechnik einen grossen Schritt vorwärts: Ein Genom kann mit einem Restriktionsenzym in viele spezifische Fragmente zerlegt werden, welche sich mittels Gelelektrophorese auftrennen lassen.

Ein so gereinigtes DNA-Fragment lässt sich dann in ein ebenfalls mit einem Restriktionsenzym aufgespaltenes Vektormolekül einbauen und in einem weiteren Schritt in einem Wirt zur Vermehrung und allenfalls auch zur Expression bringen. Je nach gewählter Wirtszelle lässt sich durch die Expression des Gens auf dessen Funktion schliessen. Zu

dieser Analyse tragen auch die Methoden der ortsspezifischen Mutagenese bei, das heisst das künstliche Auslösen einer Genveränderung an einem vorbestimmten Ort in der DNA. Weil die Veränderung der DNA-Sequenz die angestammte Funktion eines Gens beeinträchtigen kann, stellt die Mutagenese eine wichtige Hilfe bei Analyse der Genfunktionen dar. Schliesslich dienten die seit den 1970er-Jahren für die Forschung erhältlichen, gereinigten Restriktionsfragmente der Erbinformation zur erfolgreichen Aufklärung von Nukleotidsequenzen.

Zuvor war in den 1960er-Jahren der universell gültige genetische Code aufgeklärt worden. Die Kenntnis dieses Codes und die Möglichkeit, die Nukleotidsequenz zu lesen, machten es möglich, in einem Genom spezifische Gene zu identifizieren. Es stellte sich heraus, dass einzelne Gene sehr unterschiedlich lang sind, durchschnittlich aber etwa 1000 Bausteine (Nukleotide) umfassen.

Die mutmasslichen Risiken

Bereits in den Anfängen der sich erfolgreich entwickelnden Gentechnik diskutierten die Pioniere dieser Forschungsrichtung allfällige Risiken der Methode. Tatsächlich erlebte ich die weltweit erste grundsätzliche Risikodiskussion bereits 1972 in der Schweiz (in der Tagungsstätte Leuenberg im Kanton Basel-Landschaft) an einem Workshop der EMBO¹ über bakterielle Restriktions-Modifikationssysteme. Im Februar 1975 widmete sich dann

die internationale Asilomar-Konferenz² in Kalifornien den mutmasslichen Risiken der Gentechnik.

Man stellte im Konsens fest, dass zu unterscheiden ist zwischen den unmittel-

baren Risiken während der Laborarbeit und den längerfristigen Risiken nach der Freisetzung von rekombinanter DNA. Zur Vermeidung von Risiken schlug man einerseits Arbeitsrichtlinien vor, welche sich nach den Arbeitsregeln von Laboratorien der medizinischen Mikrobiologie richteten. Andererseits diskutierte man die Möglichkeit, dass in die Umwelt freigesetzte rekombinante DNA eventuell auch unkontrolliert auf andere Organismen übertragen werden könnte. Dabei wurde schnell klar, dass man zur Beurteilung dieser Risiken die molekularen Mechanismen der in der Natur spontan erfolgenden genetischen Variation, der Triebkraft der biologischen Evolution, kennen sollte.

Solide Kenntnisse über die molekularen Mechanismen der natürlichen genetischen Variation erlangte man wiederum aus Experimenten der mikrobiellen Genetik. Hinweise auf die allgemeine Gültigkeit der Prinzipien auch für höhere Lebewesen

ergaben sich inzwischen aus computergestützten Sequenzvergleichen der DNA von mehr oder weniger evolutionär verwandten Organismen. Im Folgenden soll ein Überblick der heute verfügbaren Kenntnisse über die molekularen Geschehnisse in der biologischen Evolution gegeben werden.

Natürliche und experimentelle Variation

Prinzipiell ist die Erbinformation aller bisher untersuchten Lebewesen relativ stabil. Hin und wieder kann in einem Individuum jedoch in dessen Keimbahn oder auch in einer somatischen Zelle eine genetische Veränderung erfolgen. Jederzeit wirkt auf eine Population von elterlichen Formen und genetischen Varianten die von Charles Darwin postulierte natürliche Selektion. Darunter versteht man die natürliche Auswahl der Lebewesen anhand ihrer Fähigkeit, sich an die vorgefundenen Lebensbedingungen anzupassen. Die Bedingungen ergeben sich aus der physikalisch-chemischen Natur der Umwelt und allen in einem Ökosystem anwesenden Lebewesen. Interessanterweise zeigte sich, dass eine spontan erfolgte Mutation dem Organismus nur selten einen selektiven Vorteil verschafft. Viel häufiger bringt eine neue Mutation selektive Nachteile mit sich, so dass die Träger dieser Gen-Variante und deren allfällige Nachkommen im Laufe der Zeit wieder verdrängt werden. Ausserdem sind viele neue Mutationen selektiv neutral, das heisst, sie bringen für den Träger weder Selektionsvorteile noch -nachteile. Diese Erkenntnisse deuten darauf hin, dass spontane genetische Variationen, sogenannte Mutationen, und ihre Auswirkung eher zufällig sind. Darin besteht nun auch der Unterschied zwischen der in der Natur spontan

erfolgenden genetischen Variation und der auf Gentechnik basierenden, experimentell herbeigeführten Variation.

Aber die molekularen Prozesse von natürlicher und experimentell herbeigeführter genetischer Veränderung sind prinzipiell dieselben.

Widmen wir unsere Aufmerksamkeit zunächst der natürlichen genetischen Variation. Fest steht, dass mehrere Prozesse zur Bildung der genetischen Varianten in der Natur beitragen.

- **Lokale Änderung in der DNA-Sequenz:** Dazu gehören die Substitution eines Nukleotids durch ein anderes, das Weglassen eines oder einiger benachbarter Nukleotide, das Einfügen eines oder einiger zusätzlicher Nukleotide, und schliesslich das Durchmischen einiger benachbarter Nukleotide. Wichtig ist hier anzumerken, dass diese Prozesse nicht als Fehler oder als Folge von Unfällen an der DNA zu betrachten sind. Vielmehr verstehen wir sie heute als kooperative Wirkung von spezifischen Genprodukten mit nicht-genetischen Elementen wie beispielsweise der strukturellen Flexibilität (Tautomerie) von biologischen Molekülen.
- **Segmentweise Umstrukturierung mittels Rekombination im Genom:** Diese in der Regel enzymatisch ablaufenden Prozesse betreffen Segmente unterschiedlicher Länge. Je nach beteiligten Rekombinationsenzymen können diese Prozesse zur Verdoppelung eines DNA-Segments, zu dessen Eliminierung (Deletion), Umdrehung (Inversion) oder Verschiebung (Translokation) an eine andere Stelle im Genom führen. Dies kann hin und wieder die Fusion zwischen zuvor unabhängigen funktionellen Abschnitten zur Folge haben, wobei unter Umständen eine neue biologische Funktion entstehen kann.

- **Aufnahme eines Segmentes fremder Erbinformation mittels horizontalem Gentransfer:** Dieser Prozess, auch Akquisition genannt, kann höchst erfolgreich sein, wenn die aufgenommene Erbinformation dem Träger einen selektiven Vorteil verschafft. Ganz allgemein erweist sich der horizontale Gentransfer als am wirksamsten bei der Aufnahme eines relativ kurzen Segmentes fremder Erbinformation.

Schliesslich weise ich nochmals darauf hin, dass in der Natur alle spezifischen Mechanismen der genetischen Variation eher seltene Prozesse sind. Dazu tragen unter anderem spezifische Enzymsysteme, sowie Regelprozesse der Expression der als Variationsgeneratoren wirkenden Enzyme bei. Soweit bekannt, geniessen alle bisher untersuchten Arten von Lebewesen einerseits eine gewisse genetische Stabilität und andererseits auf dem Niveau ihrer Populationen die längerfristigen Vorzüge einer aktiv bewirkten biologischen Evolution.

Die aus der Natur bekannten Prozesse der genetischen Variation dienen uns auch in der Gentechnik: Nach dem Vorbild der natürlichen DNA-Akquisition werden einzelne, relativ kurze DNA-Segmente horizontal verpflanzt. Bei der ortsspezifischen Mutagenese werden lokale Veränderungen in DNA-Sequenzen eingebracht. Schliesslich werden hin und wieder auch im Genom vorgefundene DNA-Abschnitte neu miteinander kombiniert. Wie in der Natur sind die gentechnischen Veränderungen vor allem dann erfolgreich, wenn kurze Segmente eingesetzt werden. Schliesslich sind alle gentechnisch erzeugten Varianten ebenfalls der natürlichen Selektion unterworfen. Wir sollten nicht vergessen, dass gentechnisch verpflanzte DNA-Segmente gelegentlich in der Natur vorgefunden werden und

früher oder später auch spontan auf andersartige Lebewesen in horizontalem Gentransfer übertragen werden könnten.

Abschliessend können wir feststellen, dass kein wissenschaftlich fundierter Grund besteht, den Verfahren der Gentechnik besondere, methodisch begründete Risiken zuzuordnen. Aus Erfahrung weiss man, dass weder die natürlich verankerte biologische Evolution noch die klassischen Züchtungsverfahren drastische Risiken beinhalten. Im Hinblick auf die grosse Ähnlichkeit zwischen gentechnischen Verfahren und natürlicher genetischer Variation können wir annehmen, dass sich allfällige Risiken der Gentechnik im gleichen Rahmen wie die der natürlichen biologischen Evolution bewegen, also weitgehend unbedeutend sind.

Im Hinblick auf die grosse Ähnlichkeit zwischen gentechnischen Verfahren und natürlicher genetischer Variation sind allfällige Risiken der Gentechnik wohl weitgehend unbedeutend.

ENDNOTEN

- 1 European Molecular Biology Organization
- 2 Internationale wissenschaftliche Konferenz, die 1975 im kalifornischen Asilomar stattfand

LITERATUR

- Arber, W. (2007) Genetic variation and molecular evolution. R. A. Meyers (Ed.) Genomics and Genetics, Vol1, Wiley-VCH, Weinheim, pp.385-406.
- Arber, W. (2009) The impact of science and technology on the civilization, Biotechnol. Adv. 27,940-944.
- Arber, W. (2010) Genetic engineering compared to natural genetic variations, New Biotechnology 27, 517-521.

2. Agrarökonomie und Gesetzgebung



2.1 Gentechnisch veränderte Pflanzen in der Schweiz – eine agrarökonomische Analyse

Der primäre Nutzen gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) besteht unter den Verhältnissen der Schweizer Landwirtschaft aus Kosteneinsparungen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn indirekte Aspekte wie die gleichzeitige Einführung der Direktsaat berücksichtigt werden. Zusätzliche Kosten erwachsen den Landwirten durch das teurere Saatgut und Koexistenzmassnahmen, die in der kleinstrukturierten Pflanzenproduktion der Schweiz nötig sind. Ob der Nutzen oder die Kosten überwiegen, hängt von der Kultur und von den Rahmenbedingungen ab. So können GVP nur dann einen Nutzen bringen, wenn der Problemdruck durch Schädlinge und Krankheiten hoch ist. Jedoch dürften die möglichen Einkommenssteigerungen durch den Anbau von GVP nie die an den Ökologischen Leistungsnachweis gekoppelten Direktzahlungen übersteigen. Darum wäre eine Anpassung dieser Richtlinien die Voraussetzung dafür, dass auch gentechnisch veränderte Pflanzen ihren Beitrag zu einer ökologisch, sozial und ökonomisch nachhaltigen Landwirtschaft leisten können. Ob ein Landwirt gentechnisch veränderte Kulturen anbaut oder nicht, ist aber nicht nur eine ökonomische Frage. Eine wesentliche Rolle spielen auch die Meinungen und Reaktionen des gesellschaftlichen Umfelds.

ROBERT FINGER
MICHAEL WEBER

WELTWEITE ANBAUFLÄCHEN WACHSEN

Nach ihrer kommerziellen Einführung vor 15 Jahren wurden gentechnisch veränderte Pflanzen im Jahr 2011 in 29 Ländern auf mehr als 160 Millionen Hektaren angebaut. Während es anfänglich vor allem pestizid- und herbizidtolerante Pflanzen waren, ist das derzeitige Wachstum der Anbauflächen vor allem darauf zurückzuführen, dass neuerdings GVP mit kombinierten Merkmalen (Stacked Traits) zur Verfügung stehen. Diese haben mehrere neue Eigenschaften wie zum Beispiel Herbizidresistenz und Resistenz gegen bestimmte Schädlinge.

Gemessen am Anteil gentechnisch veränderter Pflanzen an der weltweiten Anbaufläche stellt Baumwolle mit einem GVP-Anteil von 82 Prozent die dominante Kultur dar, gefolgt von Soja (75 %), Mais (32 %) und Raps (26 %).^[1]

In Europa werden GVP momentan nur in sehr geringem Umfang angebaut, wobei der Anbau von Bt-Mais in Spanien den mit Abstand grössten Teil darstellt.

In den letzten Jahren wurden aber von Kulturpflanzen wie Kartoffeln, Luzerne oder Zuckerrüben gentechnisch veränderte Sorten kommerzialisiert, die auch für die Schweizer Landwirtschaft von Interesse sein könnten.

Der erste Blick auf die rasante Entwicklung der globalen Anbaufläche zeigt, dass GVP für viele Landwirte offenbar lukrativ sind. Sie ziehen trotz höherer Saatgutkosten gentechnisch veränderte den konventionellen Pflanzen vor. Vergleicht man jedoch die Rentabilität von GVP und

konventionellen Pflanzen im Detail, zeigt sich, dass die Beweggründe für Landwirte, auf GVP umzusteigen, sehr verschieden sind.^[2] In Ländern, in denen die Landwirtschaft durch hochentwickelte Bewirtschaftungsverfahren

und ein hohes Mass an Schädlingsbekämpfung gekennzeichnet ist (z. B. in den USA oder Europa), überwiegen in der Regel Kosteneinsparungen. Denn unter diesen Umständen vereinfacht der Einsatz von GVP die Schädlingsbekämpfung oder macht diese überflüssig. In Ländern, in denen jedoch weniger weit entwickelte Anbauverfahren zur Anwendung kommen (z. B. in Entwicklungsländern), stellen die durch GVP erzielbaren Reduktionen der Ertragsverluste den wichtigsten wirtschaftlichen Faktor dar.

In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, dass GVP in der Regel nicht darauf abzielen, Erträge zu erhöhen, sondern darauf, Ertragsverluste zu reduzieren beziehungsweise diese Reduktion zu tieferen Kosten zu ermöglichen. Daher können GVP im Vergleich zu konventionellen

GVP können im Vergleich zu herkömmlichen Pflanzen keine erhöhte Rentabilität bringen, wenn kein Problemdruck in Form von beispielsweise Schädlingen oder Unkräutern vorhanden ist.

Pflanzen per definitionem keine erhöhte Rentabilität zeigen, wenn kein Problemdruck in Form von beispielsweise Schädlingen oder Unkräutern vorhanden ist. Wird der Anbau von GVP staatlich reguliert, müssen für Rentabilitätsvergleiche ausserdem die für den Landwirt anfallenden Kosten der Koexistenz berücksichtigt werden.

STUDIEN IM RAHMEN DES NFP 59

Basierend auf diesem Hintergrund und der im Rahmen des NFP 59 durchgeführten Studien werden in diesem Kapitel die agrarökonomischen Aspekte eines potenziellen Anbaus von GVP in der Schweizer Landwirtschaft analysiert.

Der Fokus der für die Schweiz durchgeführten Untersuchungen lag vor allem auf der einzelbetrieblichen Perspektive sowie auf der Analyse einer

beispielhaften Anbau-region. Daher sind in dieser Zusammenfassung keine Aussagen über die auf nationaler Ebene aggregierten Nutzen und Kosten möglich. Ebenfalls beschränken sich die im Rahmen des

NFP 59 durchgeführten Studien und damit auch dieses Kapitel auf die Systemgrenze landwirtschaftlicher Betriebe. Deshalb lassen sich hier auch keine expliziten Rückschlüsse auf den Markt oder nachgelagerte Verarbeitungs- und Vertriebsstufen ziehen.

POTENZIELLER NUTZEN FÜR DIE SCHWEIZER LANDWIRTSCHAFT

Bei allen in der Schweiz wichtigen Ackerkulturen stellen die Aufwendungen für den Pflanzenschutz (inklusive notwendiger Arbeits- und Maschinenkosten) einen signifikanten Anteil der Gesamtkosten im Ackerbau dar – was auf ein gewisses wirtschaftliches Potenzial von GVP schliessen lässt. Jedoch ist hierbei zu beachten, dass der Problemdruck in der Schweiz räumlich und zeitlich sehr heterogen ist. So übersteigt zum Beispiel der Maiszünslerbefall im Kanton Bern die Schadschwellen nur in gewissen Regionen und Jahren.^[3] Das heisst, der Einsatz von schädlingsresistentem Bt-Mais wäre nur in einigen Regionen des Kantons relevant.

Weil in der Schweiz der kommerzielle Anbau von GVP mit einem Moratorium belegt ist, kann für die agrarökonomische Analyse nicht auf empirische Daten zurückgegriffen werden. Deshalb wurden in den im Rahmen des NFP 59 durchgeführten Projekten die Vor- und Nachteile der für die Schweiz infrage

kommenden gentechnisch veränderten Ackerkulturen mithilfe von Modellen analysiert und quantifiziert.

Folgende Aufstellung gibt eine Übersicht über die Projekte und die darin untersuchten Kulturen:

Die Studien des NFP 59 beschränken sich auf die Systemgrenze landwirtschaftlicher Betriebe. Aussagen über die auf nationaler Ebene aggregierten Nutzen und Kosten sind nicht möglich.

Projekt 1: *Kosten-Nutzen-Analyse der Legalisierung von GVO*^[4]

- schädlingsresistenter Mais
- herbizidtoleranter Winterraps
- pilzresistenter Winterweizen
- herbizidtolerante Zuckerrüben

Projekt 2: *Vergleich von GVP in konventioneller, integrierter und biologischer Landwirtschaft*^[5]

- schädlingsresistenter Mais
- herbizidtoleranter Weizen
- herbizidtoleranter Raps
- herbizidtolerante Zuckerrüben mit zusätzlicher Resistenz gegen Rhizomania
- Kartoffeln mit Resistenz gegen Nematoden, Kartoffelkäfer sowie Kraut- und Knollenfäule

Ertragszuwachs

Basierend auf den Erfahrungen anderer Länder wird in Projekt 1 beim Einsatz von GVP ein mengenmässig geringer (5 %) Ertragszuwachs angenommen. Im Gegensatz dazu geht Projekt 2 von keinem Ertragszuwachs aus (Ausnahmen sind Körnermais und Bio-Kartoffeln). Dies spielt jedoch für die nachfolgenden Betrachtungen nur eine untergeordnete Rolle, da – wie bereits oben beschrieben – die Ertragssteigerung im Fall der Schweizer Landwirtschaft nicht das primäre Ziel von GVP ist.

Kosteneinsparungen

Viel mehr ins Gewicht fallen dürften für den einzelnen Landwirtschaftsbetrieb die durch die Einführung von GVP erzielbaren Kosteneinsparungen. So entfällt zum Beispiel beim Anbau von Bt-Mais die Behandlung mit Schlupfwespen gegen den Maiszünsler. Im Projekt *Kosten-Nutzen-Analyse der Legalisierung von GVO*, führt dies zu einem deutlichen Rückgang der Pflanzenschutzkosten von 215 auf 100 Franken pro Hektare sowie leicht tieferen Arbeitskosten. Bei pilzresistentem Weizen fallen die Kosten des Fungizideinsatzes um 20 Prozent tiefer aus. Herbizidtolerante Kulturen ermöglichen den Einsatz eines vergleichsweise günstigen Breitbandherbizids wie zum Beispiel Glyphosat, was zu deutlich tieferen Pflanzenschutzkosten bei Raps und Zuckerrüben führt.^[4]

Projekt 2 kommt beim Körnermais zu ähnlichen Ergebnissen: Die Kostenreduktion durch den Wegfall der Maiszünslerbekämpfung wird auf 141 Franken pro Hektare geschätzt. Aufgrund der Herbizidtoleranz wird mit zusätzlichen Kostenreduktionen infolge der vereinfachten Unkrautbekämpfung gerechnet.^[5] Auch bei anderen Kulturen schlagen sich reduzierte Schädlingsbekämpfung und vereinfachte Unkrautbekämpfung in geringeren Kosten nieder.

Die Vor- und Nachteile der für die Schweiz infrage kommenden gentechnisch veränderten Ackerkulturen wurden mithilfe von Modellen analysiert und quantifiziert.

Von grosser wirtschaftlicher Relevanz kann zudem die kombinierte Einführung von GVP mit anderen landwirtschaftlichen Praktiken wie zum

Beispiel der Direktsaat sein. Dies hätte einen doppelten Vorteil: Einerseits kann die Direktsaat helfen, das Problem der Bodenerosion zu bekämpfen, und andererseits auch, Ma-

schinen- und Arbeitskosten deutlich zu senken. Momentan spielt die Direktsaat jedoch in der Schweiz mit einem Anteil von ca. drei Prozent an der gesamten Ackerfläche nur eine geringe Rolle, was unter anderem auf die daraus resultierenden Schwierigkeiten im Unkrautmanagement zurückzuführen ist. Diese Schwierigkeiten könnten allerdings herbizidtolerante Pflanzen und der damit verbundene Ein-

satz von Breitbandherbiziden reduzieren und den Landwirten so einen zusätzlichen Anreiz bieten, auf Direktsaat umzustellen. Tatsächlich haben Landwirte in anderen Ländern die Verwendung von herbi-

zidtoleranten Kulturen mit diesem Win-Win-Effekt begründet.^[2] Daraus lässt sich folgern, dass die gleichzeitige Einführung von herbizidtoleranten Kulturen und Direktsaat grosse wirtschaftliche Vorteile für die Schweizer Landwirte haben kann.^[4]

Von grosser wirtschaftlicher Relevanz kann die kombinierte Einführung von GVP mit anderen landwirtschaftlichen Praktiken wie zum Beispiel der Direktsaat sein.

Nicht berücksichtigt sind dabei die in einigen Kantonen verfügbaren Direktzahlungen für die Umstellung auf Direktsaat.

Sie würden den Anreiz zur kombinierten Umstellung auf GVP und Direktsaat zusätzlich erhöhen. Wie hoch allerdings die Kosteneinsparungen durch die Anwendung von Direktsaat und Breitbandherbiziden effektiv sein könnten, wird in den beiden Studien je nach Annahmen sehr unterschiedlich beurteilt.

WEITERE VORTEILE

Neben einer Erhöhung des mittleren Gewinns kann auch die Reduktion der Streuung des Einkommens, das heisst die Reduktion des Risikos, eine Motiva-

tion für den Landwirt sein, auf GVP zurückzugreifen. So kann zum Beispiel der Anbau von schädlingsresistenten Kulturen als eine Art Versicherung gegen die durch Schädlingsbefall hervorgerufenen

Schwankungen im Einkommen interpretiert werden.^[6] Zudem treten auch monetäre Vorteile auf, zum Beispiel eine grössere Flexibilität bei der Bewirtschaftung der Ackerfläche und die Verringerung von Arbeitsspitzen und Stress.

Der Anbau von schädlingsresistenten Kulturen kann als eine Art Versicherung gegen die durch Schädlingsbefall hervorgerufenen Schwankungen im Einkommen interpretiert werden.

Ausserdem könnten GVP die Bewirtschaftung grösserer Flächen sowie eine bessere Kombination mit einem Nebenerwerb ermöglichen.^[5]

KOSTEN DES ANBAUS VON GVP UND DER KOEXISTENZ

Einer der relevantesten Kostenfaktoren bei der Einführung von GVP sind die zusätzlichen Saatgutkosten. Beide Studien nehmen an, dass diese für GVP um 30 Prozent höher sind als für konventionelles Saatgut. Obwohl diese Annahme beobachteten Werten entspricht, muss beachtet werden, dass dieser Preisaufschlag je nach Nachfragesituation, Angebotsstruktur und Ausgestaltung des rechtlichen Rahmens sehr unterschiedlich ausfallen kann.^[2]

Liegt den Annahmen eine geringfügige mengenmässige Ertragssteigerung durch die GVP zugrunde, steigen im gleichen Masse auch der Input (z. B. Dünger) sowie andere variable Kosten (z. B. Trocknungskosten). Zudem wird in Projekt 1 *Kosten-Nutzen-Analyse der Legalisierung von GVO* angenommen, dass der Anbau von GVP die Teilnahme am Agrar-Umwelt-Programm «Extenso» verhindert. Da aber ein Grossteil der heutigen Schweizer Getreide- und Rapsproduzenten Beiträge für die extensive Produktion erhält, bedeutet ein Ausschluss von diesem Programm grosse Opportunitätskosten, das heisst signifikante Hürden für die Rentabilität dieser GVP.

Auch allfällige rechtliche Regelungen zur Koexistenz von transgenen und konventionellen Sorten verursachen den Landwirten Kosten. Das Projekt *Kosten-Nutzen-Analyse der Legalisierung von GVO* untersuchte die folgenden neun Koexistenz-Massnahmen bezüglich ihrer Kosten:

1. Eine umfangreichere Anbauplanung umfasst zum Beispiel die Genehmigung, Registrierung, Dokumentation sowie die Information angrenzender Landwirtschaftsbetriebe.
2. Ein Sicherheitsabstand zu nachbarschaftlichen Parzellen soll die Ausbreitung der GVP verhindern. Für die Kalkulationen wurden Sicherheitsabstände von 50 Metern und 300 Metern angenommen.
3. Um eine zusätzliche Barriere für transgene Pollen zu schaffen, können auch Pufferstreifen mit konventionellem Saatgut um das Feld mit GVP angelegt werden.
4. Ist es nicht möglich, Sicherheitsabstände einzuhalten, entstehen Kosten für die Beprobung der Ernte des angrenzenden konventionellen Feldes, um eine Verunreinigung auszuschliessen.
5. Um einen Transfer von gentechnisch verändertem Saatgut in die Umwelt auszuschliessen, müssen die für die Ernte eingesetzten Maschinen gereinigt werden.

Landwirte, die gentechnisch veränderte Pflanzen anbauen, könnten vom Agrar-Umwelt-Programm «Extenso» ausgeschlossen werden. Das bedeutet eine signifikante Hürde für die Rentabilität dieser GVP.

6. Es ist eine Transportsicherung nötig, um zu verhindern, dass keimfähiges gentechnisch verändertes Erntegut beim Transport freigesetzt wird.
7. Es wird angenommen, dass nur wenige Sammelstellen gentechnisch verändertes Erntegut annehmen, was zu höheren Transportkosten führt.
8. Um Auskreuzungen von GVP auf andere Pflanzen zu verhindern, müssen Nacherntemassnahmen getroffen sowie eine Durchwuchskontrolle im Folgejahr durchgeführt werden.
9. Zur Abdeckung möglicher Haftungsschäden wird eine entsprechende Versicherung abgeschlossen.

Landwirten, die als Erste gentechnisch veränderte Kulturen anbauen, entstehen nicht-monetäre Kosten, indem sie Information und Aufklärung zu leisten haben.

Von grosser ökonomischer Relevanz sind insbesondere die Kosten für die Anbauplanung und die Beprobung sowie für die Versicherung. Letzterer Kostenpunkt muss aber im Rahmen der in der Schweiz geltenden Haftpflichtsregelung im Gentechnikgesetz (Art. 30ff.) relativiert werden, indem Haftungsansprüche dem Saatguthersteller zugeschrieben werden, sofern kein grobes Verschulden des Landwirts vorliegt (siehe Kapitel 2.3).

Die im Rahmen des NFP 59 durchgeführten Berechnungen mit einem agentenbasierten Modell zeigen für eine Ackerbauregion im Kanton Zürich, dass Koexistenzkosten zwar stark von der Struktur des jeweiligen Gebietes abhängen, dass Koexistenz aber prinzipiell möglich ist.^[7]

Zur Bestimmung der Kosten dieser Massnahmen dienten drei verschiedene Szenarien: «günstig», «mittel», «ungünstig».

Diesen liegen verschiedene Annahmen bezüglich betriebspezifischer Faktoren wie zum Beispiel Betriebsgrösse sowie der Ausmasse von Auflagen wie zum Beispiel Sicherheitsabstände zugrunde. Tabelle 2.1 zeigt die Kosten der

Durch die öffentliche Meinung aufgebaute Hürden können einen deutlichen Einfluss auf die Entscheidung des Landwirts haben, ob er GVP anbauen will oder nicht.

In den Berechnungen wurden – übereinstimmend mit den Erfahrungen anderer Länder – identische Verkaufspreise für gentechnisch veränderte und konventionelle Pflanzen angenommen. Das heisst, es gibt keine Preisdiskriminierung von gentechnisch veränderten Produkten innerhalb der

oben aufgeführten Koexistenzmassnahmen für die drei Szenarien am Beispiel Winterweizen.

gesamten Wertschöpfungs- und Vermarktungskette (von der Verarbeitung über den Handel bis zu den Konsumenten).

Tabelle 2.1: Kosten der Koexistenzmassnahmen am Beispiel Winterweizen

(in Franken pro Hektare und Jahr)

Koexistenzmassnahme	Szenario günstig	Szenario mittel	Szenario ungünstig
1. Anbauplanung	22	86	198
2. Sicherheitsabstände	0	9	57
3. Pufferstreifen	2	10	25
4. Beprobung	0	0	190
5. Ernte	5	25	61
6. Transportsicherung	10	32	79
7. Transportdistanz	0	0	111
8. Nacherntemassnahmen	2	5	15
9. Versicherung	52	106	162
Total	93	274	899

Quelle: siehe Tabellenverzeichnis

Weiter ist auf zusätzliche nicht monetäre Kosten hinzuweisen, die insbesondere für jene Landwirte entstehen, die als Erste gentechnisch veränderte Kulturen anbauen: Sie sind gesetzlich verpflichtet, Information und Aufklärung zu leisten, was ihre Bereitschaft mindern könnte, GVP anzubauen. Dies stimmt mit der Beobachtung in Deutschland überein, dass durch die öffentliche Meinung aufgebauten Hürden einen deutlichen Einfluss auf die Entscheidung des Landwirtes haben können, ob er GVP anbauen will oder nicht.^[8]

Gentechnisch veränderte Sorten führen bei herbizidtolerantem Winterraps und Zuckerrüben zu höheren Gewinnen. Pilzresistenter Winterweizen schneidet deutlich schlechter ab als die konventionellen Sorten.

WÜRD E S SICH FÜR SCHWEIZER LANDWIRTE LOHNEN, GVP ANZUBAUEN?

Werden potenzielle Nutzen und Kosten der Verwendung von GVP einander gegenübergestellt, so zeigt sich ein sehr heterogenes Bild: Im Projekt *Kosten-Nutzen-Analyse der Legalisierung von GVO* zeigt das Szenario «mittel», dass gentechnisch veränderte Sorten bei herbizidtolerantem Winterraps und Zuckerrüben zu höheren Gewinnen führen. Pilzresistenter Winterweizen schneidet deutlich schlechter ab als die konventionellen Sorten.

Tabelle 2.2: Vergleich der Wirtschaftlichkeit von konventionellem, schädlingsresistentem und herbizidtolerantem Mais

(in Franken pro Hektare und Jahr)

	Konv.	Bt	HT	Kommentar
Leistungen	4033	4226	4226	Höhere Erlöse durch höhere Erträge
Flächenbeitrag	1680	1680	1680	Allgemeine Direktzahlungen bei Erfüllung des ÖLN
Total Leistungen	5713	5906	5906	
Saatgut	292	380	380	
Düngung	407	416	416	An höhere Erträge angepasste Düngungs- und andere Direktkosten
Andere Direktkosten	729	765	765	
Pflanzenschutz	215	100	237	Bei Bt-Mais entfällt Schlupfwespen-Behandlung
Pachtzins (Land)	718	718	718	
Arbeit	832	819	739	Deutlich tiefere Arbeits- und Maschinenkosten
Maschinen	1319	1319	1021	insbesondere bei HT-Mais (mit Direktsaat)
Andere Gemeinkosten	800	800	797	
Kosten Koexistenz	0	274	274	
(in % zu totalen Kosten)	(0 %)	(4,90 %)	(5,12 %)	Szenario «mittel»
Totale Kosten	5312	5591	5347	
Gewinn/Verlust	401	315	559	
Vorteil GVP zu konventionell		-86	+158	

Quelle: siehe Tabellenverzeichnis

Beispielhaft zeigt Tabelle 2.2 die für Mais durchgeführten Kalkulationen.

Tabelle 2.2 zeigt, dass der Anbau von schädlingsresistentem Mais keinen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber konventioneller Maisproduktion liefert, dass aber herbizidtoleranter Mais zu einem um 158 Franken pro Hektare höheren Gewinn führt. Dies ist insbesondere auf die gleichzeitige Umstellung auf Direktsaat und die damit verbundenen Einsparungen von Maschinen- und Arbeitskosten zurückzuführen. Für alle Kulturen gilt,

dass die Kosten für Koexistenzmassnahmen im Vergleich zu den gesamten Kosten sehr gering sind.

Zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommt das Projekt *Vergleich von GVP in konventioneller, integrierter und biologischer Landwirtschaft*. Gentechnisch veränderte Alternativen erhöhen bei Mais und Raps die Rentabilität, führen jedoch bei konventionellen Kulturen von Weizen, Kartoffeln und Zuckerrüben zu tieferen Gewinnen. Bei biologischer Produktion jedoch würden insbesondere gentechnisch veränderte

Kartoffeln, sofern dafür zugelassen, zu höheren Gewinnen führen.^[5] Es ist wichtig zu beachten, dass in dieser Studie für gentechnisch veränderte Pflanzen häufig kombinierte Eigenschaften (z. B. Schädlingsresistenz und Herbizidtoleranz) angenommen und keine Kosten für Koexistenz berücksichtigt wurden. Dass die beiden Studien trotzdem zu ähnlichen Ergebnissen kommen, weist auf deutlich konservativere Annahmen bezüglich Kosteneinsparungen durch die Verwendung von GVP in der Studie Systemanalyse des Einflusses von GVP in verschiedenen Landwirtschaftssystemen hin. Sie zeigt auch, dass die Einführung von GVP innerhalb einer ganzen Fruchtfolge, wenn also die Bewertung nicht nur auf Ebene einzelner Kulturen durchgeführt wird, zu noch geringeren ökonomischen Vorteilen führt.

In allen Vergleichen zeigt sich, dass durch den Einsatz von GVP erzielte Kosteneinsparungen sowie mögliche Zusatzerlöse durch verringerte Ertragsverluste im Vergleich zu den totalen Leistungen sehr gering sind. Der Zusatznutzen von GVP bleibt also, insbesondere in Relation zum gesamten Betriebseinkommen, relativ gering.^[7] Dieser übersteigt zum

Der Zusatznutzen von GVP bleibt in Relation zum gesamten Betriebseinkommen relativ gering. Er übersteigt nie den Betrag, der durch allgemeine Direktzahlungen an den Landwirt fließt.

Die Gefahr, dass GVP einen Trend zu Monokulturen bewirken, wird durch den ÖLN weitgehend gebannt.

Beispiel nie den Betrag, der durch allgemeine Direktzahlungen an den Landwirt fließt. Also bleibt die Erfüllung des Ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN), an den diese Direktzahlungen geknüpft sind, für den Landwirt von zentraler Bedeutung.

Wäre der Anbau von GVP im Rahmen des ÖLN nicht gestattet, hätten diese Pflanzen für den Landwirt also nur eine geringe ökonomische Relevanz. Ebenso würde es sich für die Landwirte, selbst wenn sie GVP anbauen würden, nicht lohnen, die vom ÖLN geforderten Fruchtfolgen aufzugeben. Somit wird die Gefahr, dass GVP einen Trend zu Monokulturen bewirken, durch den ÖLN weitgehend gebannt.^[5]

Basierend auf diesen Berechnungen und der Annahme, dass GVP mitunter leichte ökonomische Vorteile hervorrufen könnten, stellt sich nun die Frage, ob Landwirte diese Umstellung wirklich vornehmen. Zu diesem Zweck wurde im Kanton Zürich eine nicht-repräsentative Befragung von 61 Landwirten durchgeführt. Rund 30 Prozent der Befragten könnten sich einen Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen vorstellen. Bei der Analyse der Determinanten ihrer Einstellung zu GVP zeigt sich, dass insbesondere

die Einschätzung der Einstellung ihres Nachbarn wichtig ist: Denken Landwirte, dass ihr Nachbar GVP einsetzen wird, können sie sich viel eher eine Nutzung von GVP auf ihrem eigenen Betrieb vorstellen. Dies unterstreicht, wie wichtig die Meinung angrenzender Landwirte oder anderer Anspruchsgruppen ist, wenn ein Landwirt entscheiden will, ob er gentechnisch veränderte Kulturen anbauen soll. Auch die Überzeugung, dass GVP den Arbeitsaufwand reduzieren, führt zu einer signifikant höheren Anbaubereitschaft der Landwirte.^[9]

Zudem ist die Einschätzung möglicher Umweltschäden durch die Landwirte wichtig. Die Bereitschaft, GVP anzubauen, reduziert sich deutlich, wenn deren Umweltauswirkungen durch die Landwirte als negativ beurteilt werden.

Bei Fragen der Koexistenz zeigen die Befragungsergebnisse jedoch eine positive Einstellung und ein hohes Mass an Toleranz der Landwirte gegenüber GVP: 54 Prozent der Befragten wären bereit, freiwillige Koexistenzmassnahmen durchzuführen. Zudem gaben 67 Prozent an, dass sie bereit wären, an lokalen Arbeitsgruppen teilzunehmen, um Informationsaustausch und Absprachen zu ermöglichen.

NACHBARSCHAFTSEFFEKTE UND KOORDINierter ANBAU

Da die hier vorgestellten Studien nicht auf beobachteten Daten basieren, ist es wichtig zu berücksichtigen, dass sie für alle Kalkulationen auf (plausible) Annahmen bezüglich veränderter Kosten und Erlöse zurückgegriffen haben. Kleine Veränderungen in

diesen Annahmen können die Aussagen zur Rentabilität von GVP von einem Extrem zum anderen springen lassen. Dies gilt auch für spezifische Annahmen zu Koexistenzmassnahmen (z. B. Haftpflichtversicherungen) sowie Annahmen bezüglich der Möglichkeit, GVP in bestehende ökologische Direktzahlungsprogramme (z. B. «Extenso») zu integrieren. Demzufolge ist basierend auf den vorgestellten Studien eine klare, allgemeingültige Aussage zur Rentabilität von GVP nicht möglich.

Die Übertragbarkeit der hier präsentierten Resultate zu der Fragestellung, ob GVP für Schweizer Landwirte rentabel wären, ist zudem durch andere Faktoren begrenzt. Es wurden zum Beispiel Kalkulationen anhand von durchschnittlichen Betriebskennzahlen unter Verwendung verschiedener Szenarien präsentiert, die wichtige Heterogenitäten

54 Prozent der befragten Landwirte in einer nicht repräsentativen Studie wären bereit, freiwillige Koexistenzmassnahmen durchzuführen.

Die koordinierte Schaffung von GVP-Produktionszonen kann die Koexistenzkosten (und Probleme) reduzieren.

bezüglich Problemdruck, Betriebs- und Kostenstruktur nur bedingt abbilden können. Da der mögliche Nutzen von GVP jedoch sehr betriebsspezifisch ist, ist aus diesen Analysen keine klare Aussage ableitbar, ob Landwirte transgene Kulturen anbauen würden. Eher ist zu erwarten, dass manche Betriebe GVP nutzen würden, wohingegen der Anbau für andere Betriebe nicht rentabel wäre. Dies wird durch die Modellanalyse unterstrichen, die zeigt, dass die Rentabilität von GVP selbst innerhalb einer kleinen Anbauregion sehr heterogen sein kann.^[7] Dabei ist zu beachten, dass die Nutzung von GVP eine gewisse Adoptionsdynamik beinhalten kann: Die aufgezeigten Nachbarschaftseffekte können dazu führen, dass die Nachbarn von Landwirten, die GVP nutzen, eine höhere Adoptionswahrscheinlichkeit haben – auch aus ökonomischen Gründen. Denn wer einen Nachbarn hat, der GVP nutzt, der hat auch geringere Koexistenzkosten. Deshalb kann eine koordinierte Schaffung von GVP-Produktionszonen die Koexistenzkosten (und Probleme) reduzieren.

OFFENE FRAGEN

Den Aspekten Heterogenität und Adoptionsdynamik muss in zukünftigen Analysen zum Thema ‹GVP in der Schweizer Landwirtschaft› Rechnung getragen werden.

Nähme man in den Berechnungen eine kombinierte Herbizid- und Schädlingsresistenz an, führte das zu einer positiveren Bewertung der Wirtschaftlichkeit von GVP.

Ein weiterer kritischer Aspekt betrifft die Auswahl der gentechnisch veränderten Kulturen. Obwohl alle für die Schweiz wichtigen Ackerkulturen berücksichtigt wurden, beschränkte sich die Auswahl in der Studie *Kosten-Nutzen-Analyse der Legalisierung von GVO* auf Schädlings- und Pilzresistenz sowie Herbizidtoleranz.^[4] Der globale Trend zeigt jedoch, dass kombinierte Merkmale (Stacked Traits) immer wichtiger sind. Nähme man in den von den Autoren präsentierten Berechnungen zum Beispiel eine kombinierte Herbizid- und Schädlingsresistenz an, führte das zu einer positiveren Bewertung der Wirtschaftlichkeit von GVP. Dementsprechend sollten zukünftige Studien deutlich mehr Gewicht auf die Integration kombinierter Merkmale sowie möglicher zukünftiger Potenziale von GVP legen. Zudem ist anzumerken, dass die im Rahmen des NFP 59 durchgeführten Studien mögliche Auswirkungen von GVP auf den Markt oder nachgelagerte Verarbeitungs- und Vertriebsstufen nicht analysiert haben. Dies sollte ebenfalls Bestandteil zukünftiger Analysen sein.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Aussage: Die Analysen zur Wirtschaftlichkeit zeigen, dass der primäre Nutzen eines allfälligen Anbaus von GVP in der Schweiz in Kosteneinsparungen liegt.

Empfehlung: Die Einführung von GVP sollte nicht isoliert, sondern kombiniert mit indirekten Aspekten wie der gleichzeitigen Einführung von Direktsaat geprüft werden, da diese die Wirtschaftlichkeit erhöhen können.

Aussage: Koexistenzmassnahmen können aufgrund der kleinstrukturierten Pflanzenproduktion in der Schweiz zu Mehrkosten für Landwirte führen.

Empfehlung: Koexistenzkosten lassen sich reduzieren, wenn sich Gruppen von GVP anbauenden Landwirten zusammenschliessen oder gesonderte Gebiete für den Anbau von GVP ausgeschieden werden.

Aussage: Die potenziellen Einkommenssteigerungen durch den Anbau von GVP würden die an die Einhaltung des ÖLN gekoppelten Direktzahlungen nicht übersteigen.

Empfehlung: Eine angepasste Ausgestaltung der ÖLN-Richtlinien kann auch bei einem Anbau von GVP dazu dienen, eine ökologisch, sozial und ökonomisch nachhaltige landwirtschaftliche Produktion zu gewährleisten.

Aussage: Gesellschaftliche Akzeptanz, Ausgestaltung von Koexistenzmassnahmen sowie die zukünftige Ausgestaltung der Agrarpolitik spielen eine zentrale Rolle inwieweit GVP in der Schweizer Landwirtschaft zur Anwendung kommen können.

Empfehlung: In der Einschätzung des ökonomischen Nutzens von GVP in der Schweizer Landwirtschaft aus Sicht der Politik gilt es, neben der Einkommensperspektive der Landwirte auch die Ansprüche aller Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Vermarktungskette zu berücksichtigen.

LITERATUR

- [1] James, C. (2011) Global Status of Commercialised Biotech/GM Crops: 2011. ISAAA Brief No. 43. ISAAA: Ithaca, NY, USA.
- [2] Finger, R., El Benni, N., Kaphengst, T., Evans, C., Herbert, S., Lehmann, B., Morse, S., Stupak, N. (2011) A Meta-Analysis on Farm-Level Costs and Benefits of GM Crops. Sustainability 3, 743-762.
- [3] Ott, S. (2009) Maiszünslerbonitur 2009. Fachstelle für Pflanzenschutz Kanton Bern.
- [4] Albisser Vögeli G., Burose F., Wolf, D., Lips, M. (2011) Wirtschaftlichkeit gentechnisch-veränderter Ackerkulturen in der Schweiz: Mit detaillierter Berücksichtigung möglicher Koexistenz-Kosten. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.
- [5] Tamm, L., Stolze, M., Oehen, B., Gessler, C., Speiser, B. (2011) Comparative sustainability assessment of the impact of GM plants in Swiss conventional, integrated and organic farming systems. Socio-economic impact of the use of GM crops – arable crops. Report, NFP 59.
- [6] Brookes, G., Barfoot, P. (2009) Global impact of biotech crops: Socio-economic and environmental effects 1996-2007. Outlooks on Pest Management, 20, 258-264.
- [7] Schweiger, J., Ferjani, A. (2010) Agentenbasierte Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von transgenen Kulturen anhand von Beispielbetrieben in einer Schweizer Ackerbauregion. YSEA 2010, 3-37.
- [8] Consmüller, N., Beckmann, V., Schleyer, C. (2009) The role of coordination and cooperation in early adoption of GM crops: The case of Bt maize in Brandenburg, Germany. AgBioForum 12, 45-59.
- [9] Schweiger, J., Ferjani, A. (2009) Determinanten einer potenziellen Anbaubereitschaft von transgenen Kulturen: Untersuchungsregion im Kanton Zürich. YSEA2009, 59-80.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

2.2 Erfahrungen mit der Koexistenz in der Europäischen Union

Die Europäische Union (EU) verfolgt eine Koexistenzpolitik mit obligatorischer Kennzeichnung von gentechnisch veränderten Erzeugnissen, welche die Beimischungsschwelle von 0,9 Prozent übersteigen. Bei der Umsetzung hält sie sich aber an das Subsidiaritätsprinzip. Das heisst, dass die einzelnen Mitgliedstaaten für die spezifische Gesetzgebung und die Koexistenzrichtlinien zuständig sind. Dies führte zu unterschiedlichen nationalen und/oder regionalen Regelungen. Kritiker dieser Koexistenzpolitik und ihrer Umsetzung in den Mitgliedstaaten argumentieren, dass die vorgeschlagenen Massnahmen zu oft wissenschaftlich nicht vertretbar, schwierig umzusetzen, inkonsequent und nicht verhältnismässig sind und daher in vielen Fällen als eine Fortsetzung des eigentlich aufgehobenen Moratoriums ausgelegt werden können. Sie plädieren deshalb für mehr Flexibilität unter Berücksichtigung lokaler Bedingungen und für einen Spielraum für Verhandlungen und freiwillige Vereinbarungen zwischen den betroffenen Landwirten.

WIM VERBEKE

KOEXISTENZREGELUNG IN DER EUROPÄISCHEN UNION

Die treibende Kraft hinter der Koexistenzpolitik der Europäischen Union (EU) ist die Wahlfreiheit von Konsumenten und Produzenten. Eine entscheidende Voraussetzung für Wahlfreiheit ist das Nebeneinander verschiedener landwirtschaftlicher Systeme, das heisst die Koexistenz von Landwirtschaftsformen mit und ohne gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP).^[1] Landwirte sollen gemäss den Empfehlungen der Kommission vom 23. Juli 2003 die Wahl haben zwischen dem Anbau mit konventionellen oder

biologischen Methoden und dem Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen, im Einklang mit den gesetzlichen Auflagen über Kennzeichnung und Reinheitsstandards.^[2] Nicht in den Bereich der Koexistenzregelung fallen in der EU Sicherheitsfragen, da die Koexistenz nur zugelassene gentechnisch veränderte Sorten betrifft.

Bei der Umsetzung der Koexistenzleitlinien hält sich die Europäische Kommission an das Subsidiaritätsprinzip, weil die Betriebsstrukturen, Anbauformen und Rechtslagen in den EU-Mitgliedstaaten sehr heterogen sind.^[3] Also soll die Koexistenz von der niedrigstmöglichen Behörde geregelt werden. Und die einzelnen Mitgliedstaaten können geeignete nationale

Koexistenzmassnahmen beschliessen, um das unbeabsichtigte Vorhandensein von gentechnisch veränderten Bestandteilen in anderen Erzeugnissen zu vermeiden.^[4] Wobei allerdings ein gewisses Ausmass an zufälliger Durchmischung als unvermeidbar angenommen wird, da Landwirtschaft ein offenes System ist.

Unter diesen Voraussetzungen haben bis 2009 15 Mitgliedstaaten spezielle Koexistenzgesetze verabschiedet, während drei weitere Mitgliedstaaten der Kommission entsprechende Gesetzesentwürfe gemeldet haben.^[4]

Um die Koexistenz verschiedener Anbausysteme zu gewährleisten, vereint das aktuelle

Recht Ex-ante-Koexistenzvorschriften mit Ex-post-Haftungsregelungen.

Ex-ante-Koexistenzvorschriften schreiben präventive betriebliche Massnahmen vor, die gewährleisten sollen, dass der gesetzliche Schwellenwert für die Kennzeichnung von zufälligen, technisch unvermeidbaren Einträgen von zugelassenen GVP in Erzeugnissen ohne GVP eingehalten wird.

Ex-post-Haftungsregelungen decken Haftungsfragen und die Pflicht zur Entschädigung des durch eine zufällige Durchmischung entstandenen wirtschaftlichen Schadens ab.^[3] Dabei sind zum Beispiel für Mais folgende potenzielle Beimischungsquellen identifiziert worden:

Nicht in den Bereich der Koexistenzregelung fallen in der EU Sicherheitsfragen, da die Koexistenz nur zugelassene gentechnisch veränderte Sorten betrifft.

Unreinheiten des Saatguts, Durchmischen in der Saatmaschine, Kreuzbestäubung mit gentechnisch veränderten Sorten, Durchmischen in der Erntemaschine, Durchmischen bei dem Transport, dem Trocknen oder dem Lagern.^[2]

Die in der EU geltende gesetzliche Toleranzschwelle beträgt 0,9 Prozent für zufällige

oder technisch unvermeidliche Spuren von gentechnisch veränderten Organismen in Lebensmitteln und Futtermitteln, während für Saatgut kein offizieller Schwellenwert besteht. Nach EU-Recht sind GVO sowie Lebensmittel und Futtermittel, die aus GVO bestehen oder hergestellt werden oder GVO enthalten, entsprechend zu kennzeichnen, um auf Einzelhandels- und Verbraucherebene Wahlfreiheit zu gewährleisten. Daraus ergibt sich als direkte Folge, dass Erzeugnisse, die eine solche Kennzeichnung erfordern, von nicht gekennzeichneten Erzeugnissen getrennt werden müssen. Produkte, die eine Kennzeichnung erfordern, können nicht mehr mit einem Öko-Label vertrieben werden.

Falls ein Mitgliedstaat der Meinung ist, dass das Vorhandensein von Spuren gentechnisch veränderter Organismen jenen Marktteilnehmern, die ihre Erzeugnisse als gentechnikfrei vertreiben möchten, wirtschaftlichen Schaden verursacht,

kann er auch niedrigere Beimischungsniveaus vorschreiben, das heisst unter dem Schwellenwert von 0,9 Prozent. Diese Regelung ist in einer neuen Empfehlung der Kommission enthalten, die am 13. Juli 2010 angenommen wurde und den Mitgliedstaaten grössere Flexibilität einräumt, um bei der Koexistenz ihre regionalen und nationalen

Besonderheiten sowie speziellen lokalen Bedürfnisse zu berücksichtigen.^[2]

KOEXISTENZ IN DER PRAXIS

Der Bericht der EU-Kommission an den Rat und das Europäische Parlament über die Koexistenz gentechnisch veränderter, konventioneller und ökologischer Kulturen gibt einen Überblick über die Koexistenz in der EU in der Praxis.^[4]

Der Bericht stellt fest:

- **Koexistenzgesetze:** Spezifische Koexistenzgesetze haben 15 Mitgliedstaaten angenommen, drei weitere haben der Kommission Gesetzesentwürfe gemeldet. In manchen Mitgliedstaaten ist für die nächste Zukunft keine Ausarbeitung eines Regulierungsrahmens vorgesehen, weil der Anbau von gentechnisch veränderten Kulturen in ihrem Hoheitsgebiet für unwahrscheinlich gehalten wird. In einigen Mitgliedstaaten ist die regionale Ebene für die Koexistenz zuständig.

Kein Mitgliedstaat gab an, dass die bestehenden Koexistenzvorschriften unzulänglich wären, um ein angemessenes Trennungsniveau zwischen gentechnisch veränderten und nicht gentechnisch veränderten Kulturen zu sichern.

- **Informationspflicht:** In den meisten Mitgliedstaaten müssen Landwirte, die GVP anbauen, ihre Nachbarn, die Marktteilnehmer, mit denen sie landwirtschaftliche Maschinen teilen, die Eigentümer von Grundstücken, auf welchen der Anbau beabsichtigt ist und (in drei Mitgliedstaaten) Imker in einem bestimmten Umkreis eines Feldes mit GVP informieren.

Die Öffentlichkeit wird gewöhnlich durch ein öffentliches Register über den Anbau von gentechnisch veränderten Kulturen informiert.

Einige Mitgliedstaaten verlangen von Landwirten, die GVP anbauen, eine obligatorische Fortbildung oder den Nachweis ausreichender Kenntnisse zur Umsetzung der erforderlichen Trennungsmassnahmen.

Manche verlangen die obligatorische Konsultation der Nachbarn und in einigen Fällen auch deren schriftliche Zustimmung, insbesondere für die Umsetzung von Isolationsabständen.

Abbildung 2.1: Koexistenz von Landwirtschaftsformen mit und ohne Gentechnik



Die meisten Mitgliedstaaten der EU haben Koexistenzmassnahmen ausgearbeitet, um Beimischungsanteile über dem Schwellenwert von 0,9 Prozent zu verhindern. Einige streben möglichst niedrige Beimischungsanteile an. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

- **Koexistenzmassnahmen:** Die meisten Mitgliedstaaten haben Koexistenzmassnahmen ausgearbeitet, um Beimischungsanteile über dem Schwellenwert von 0,9 Prozent zu verhindern. Einige streben möglichst niedrige Beimischungsanteile an. Die Isolationsabstände bei Mais reichen von 25 bis 600 Meter gegenüber konventionellem und von 50 bis 800 Meter gegenüber biologischem Maisanbau – je nachdem, welches Niveau der Auskreuzung man zulassen will.

Da Auskreuzung nicht die einzig mögliche Ursache zufälliger Beimischung ist, werden Isolationsabstände gewöhnlich so festgesetzt, dass der Beimischungsanteil unter 0,5 Prozent bleibt (oft sogar unter 0,1 Prozent). In einem Mitgliedstaat müssen gentechnisch veränderte Kulturen sogar Isolationsabstände gegenüber ortsansässigen Imkern einhalten.

- **Haftung:** Die Haftung bei wirtschaftlichem Schaden an nicht gentechnisch veränderten Kulturen durch eine Beimischung von GVO unterliegt dem Zivilrecht und damit der Verantwortung der Mitgliedstaaten.

Alle nationalen Rechtsprechungen gewähren bei einem solchen Schaden minimalen Schutz unter den Bestimmungen des ordentlichen Deliktrechtes. Manche Staaten haben spezifische Haftungsregelungen eingeführt, die speziell für Schadensfälle durch Beimischung von GVO gelten.

Fast alle Rechtssysteme haben eigene Vorschriften für Nachbarschaftsstreitigkeiten, die auch bei wirtschaftlichem Schaden durch Beimischung von GVO angewandt werden können.

Versicherungsprodukte zur Deckung der Risiken einer Beimischung von GVO scheinen in den EU-Märkten nicht vorhanden zu sein. In vier Mitgliedstaaten sind jedoch eine Versicherungsdeckung oder alternative Arten einer finanziellen Garantie für potenziellen wirtschaftlichen Schaden

gesetzlich erforderlich oder können aufgrund der Beurteilung von Fall zu Fall verlangt werden.

Einige Mitgliedstaaten haben für wirtschaftlichen Schaden aus Beimischung von GVO Entschädigungsfonds eingerichtet, die durch eine Abgabe auf transgene Kulturen finanziert werden.

Bis heute wurden aber aus keinem dieser Fonds Entschädigungen ausgerichtet. Und von den Mitgliedstaaten liegen keine Berichte über grenzübergreifende Beimischung von GVO vor.

- **Geschützte Gebiete:** Viele Mitgliedstaaten fordern in Naturschutzgebieten spezifische Verfahren oder verbieten dort den Anbau von GVP.

Regionen, in welchen der Anbau von GVP aus sozioökonomischen Gründen verboten werden könnte, sind noch nicht festgelegt worden. Manche Regionen haben sich für gentechnikfrei erklärt. Es handelt sich jedoch um Erklärungen politischen Charakters, die keine rechtsverbindlichen Verbote darstellen.

In einigen Mitgliedstaaten besteht die Möglichkeit zur Bezeichnung von Regionen, in welchen aufgrund freiwilliger Entscheide aller Landwirte innerhalb der Region entweder nur gentechnisch veränderte Sorten einer bestimmten Kulturpflanze oder alternativ nur nicht gentechnisch veränderte Sorten angebaut werden können. Ein Beispiel könnte eine Region sein, in der intensive Saatgutproduktion

betrieben wird und in der die dort ansässigen Saatgutproduzenten einen hohen Reinheitsgrad und minimale Einträge von GVO anstreben.

Die Kommission kommt in ihrem Bericht zum Schluss, dass der Anbau gentechnisch veränderter Kulturen in der EU noch eine Nische bildet, da derzeit nur ein einziges Produkt mit sehr beschränktem Anbau kommerziell genutzt wird (Mais MON810). Rund drei Viertel des gentechnisch veränderten Maises in der EU werden in Spanien angebaut, wo er fast ein Viertel der nationalen Anbaufläche von Körnermais bedeckt.

Die beschränkte Erfahrung, die dabei bisher gewonnen wurde, liefert keine konkreten Hinweise auf praktische Schwierigkeiten bei der Einführung von gentechnisch veränderten Kulturen in der EU-Landwirtschaft.

Über wirtschaftliche Schäden durch die Nichteinhaltung nationaler Koexistenzregelungen oder durch unzumutbare Regelungen liegen keine Erkenntnisse vor.

Es gibt keinen zwingenden Beweis dafür, dass rechtliche Unterschiede zwischen

den Mitgliedstaaten ausschlaggebend dafür sind, ob die Landwirte sich für oder gegen den Anbau von GVP entscheiden. Offenbar spielen andere Kriterien eine grössere Rolle, zum Beispiel das Vorhandensein geeigneter Absatzmärkte, regional unterschiedliche Gewichtung der Vor- und Nachteile von GVP und gesellschaftliche Vorbehalte.

Aufgrund ihrer Verpflichtung zur Erarbeitung von Richtlinien für kulturpflanzen-spezifische Koexistenzmassnahmen hat die Europäische Kommission 2008 das Europäische Büro für Koexistenz

(ECoB) eingerichtet. Seine Aufgabe ist die Ausarbeitung von kulturpflanzen-spezifischen Regeln guter fachlicher Praxis für technische Koexistenzmassnahmen.

Daneben wird es sich auch mit den Möglichkeiten zur Minimierung potenziell grenzübergreifender Probleme in Zusammenhang mit der Koexistenz befassen und Empfehlungen für Gebiete erstellen, deren Agrarstrukturen

und landwirtschaftliche Bedingungen die Koexistenz bei einer bestimmten Kulturpflanze auf der Ebene des Landwirtschaftsbetriebs erschweren.

Einige Mitgliedstaaten bieten die Möglichkeit, Regionen zu bestimmen, in denen nur GVP oder nur nicht gentechnisch veränderte Sorten einer bestimmten Kulturpflanze angebaut werden können.

Bis heute wurden aus keinem Entschädigungsfonds Beiträge ausgerichtet. Und es liegen von keinem Mitgliedstaat Berichte über grenzübergreifende Beimischung von GVP vor.

KOEXISTENZ AM BEISPIEL MAIS

Verhinderung von Durchmischung

Die erste und bisher einzige Publikation des ECoB über gute fachliche Praxis wurde im Jahr 2010 mit dem Titel «Best Practice Documents for coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming: 1. Maize crop production» veröffentlicht.^[2] Das Dokument gibt einen Überblick über die einvernehmlich gebilligten Regeln guter fachlicher Praxis für die Koexistenz von gentechnisch verändertem, konventionellem sowie Mais aus biologischem Anbau. Und es soll die Mitgliedstaaten bei der Ausarbeitung oder Verfeinerung ihrer Koexistenzgesetzgebung oder freiwilligen Normen für eine gute landwirtschaftliche Praxis unterstützen.

Als einen der kritischen Punkte identifiziert der Bericht das Vorhandensein von Saatgut gentechnisch veränderter Pflanzen in Saatgutpartien nicht gentechnisch veränderter Pflanzen. Daraus folgert der Bericht, dass die am häufigsten angewandte Koexistenzmassnahme die räumliche Isolierung der Felder ist, um so die Kreuzbestäubung zu begrenzen. Soll Durchmischung von konventionellem Mais mit gentechnisch verändertem Mais unterhalb der rechtsverbindlichen Kennzeichnungsschwelle von 0,9 Prozent bleiben, beträgt der empfohlene Isolierungsabstand nicht mehr als 50 Meter.

Ausserdem empfiehlt der Bericht, bei Feldern, die sich in nächster Nähe von

Brachland befinden, den Isolierungsabstand durch Pufferzonen zu ersetzen, auf denen gentechnisch nicht veränderter Mais wächst. Solche Maisschranken vermindern die Auskreuzungsquote meist wirksamer als Isolationsabstände. Die Pflanzen, die darin wachsen, werden bei der Ernte sowie der weiteren Behandlung wie transgener Mais behandelt.

Als weitere Massnahmen werden Pollenschranken empfohlen oder zeitlich getrennte Blüteperioden der verschiedenen Maissorten.

Koexistenzkosten

Die Kosten von Isolationsabständen können von den regionalen Bedingungen abhängen. Ein Beispiel für die regionalen Unterschiede liefert eine Studie, die Daten landwirtschaftlicher Betriebe in drei spanischen Provinzen aus den Jahren 2002 bis 2004 auswertete: Demnach reichten die Auswirkungen des Anbaus von Bt-Mais auf die Bruttomarge je nach der Provinz von neutral bis zu einer Erhöhung um 122 Euro pro Hektare und Jahr.^[5] Ausschlaggebend waren grössere Erträge und verminderte Anwendung von Pestiziden.

Die ECoB-Publikation erwähnt auch die Kosten der Reinigung von Maschinen:

- 38 Euro für eine Sämaschine;
- 56 Euro für einen Mähdrescher;
- 1,5 Euro für einen Anhänger oder LKW;
- plus 7 Euro Arbeitskraftkosten pro Reinigung.

Tabelle 2.3: Isolationsabstände gemäss Vorschlag der Technischen Arbeitsgruppe Mais des ECoB

	Vorgeschlagene Isolationsabstände		
	Körnermais	Ganzpflanzennutzung	
Beimischung			<p>*Der obere Grenzbereich basiert auf Feldversuchen, bei welchen Proben maximal 250 Meter von der Pollenquelle entfernt entnommen wurden; 500 Meter ist der geschätzte Abstand, bei dem in keiner Probe mehr GVO nachweisbar sein sollte.</p> <p>Quelle: siehe Tabellenverzeichnis</p>
0,1 %	105 bis 250-500 m*	85 bis 120 m	
0,2 %	85 bis 150 m	50 bis 65 m	
0,3 %	70 bis 100 m	30 bis 55 m	
0,4 %	50 bis 65 m	20 bis 45 m	
0,5 %	35 bis 60 m	15 bis 40 m	
0,6 %	20 bis 55 m	0 bis 35 m	
0,7 %	20 bis 50 m	0 bis 30 m	
0,8 %	20 bis 50 m	0 bis 30 m	
0,9 %	15 bis 50 m	0 bis 25 m	

REGELN GUTER FACHLICHER PRAXIS

Im Anschluss an die Besprechung von publizierten Studien und verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen einigte sich die Technische Arbeitsgruppe Mais einvernehmlich auf die folgenden Regeln guter fachlicher Praxis:

- Saatgut sollte die Reinheitsanforderungen der EU einhalten und separat gelagert werden, sodass das Risiko einer unabsichtlichen Verwendung von gentechnisch veränderten und die Vermischung mit konventionellen Sorten minimiert wird.
- Das Auskreuzen von gentechnisch verändertem Mais lässt sich durch räumliche oder zeitliche Isolation eindämmen. Die räumliche Trennung ist in allen

Mitgliedstaaten möglich. Hingegen ist die zeitliche Trennung, also die Versetzung der Blütezeit von transgenen und nicht transgenen Pflanzen, von den klimatischen Bedingungen abhängig und auf die Mittelmeerländer und Rumänien beschränkt. Die empfohlenen Mindestintervalle zwischen den Aussaaten reichen von 15 bis 20 Tagen in Rumänien bis zu 45 bis 50 Tagen in Griechenland.

- Für die Produktion von Maiskörnern wurden andere Isolationsabstände vorgeschlagen als für die Nutzung der ganzen Pflanzen. Die vorgeschlagenen Isolationsabstände für Beimischungsanteile von 0,1 bis 0,9 Prozent sind in Tabelle 2.3 angegeben.
- Pufferzonen werden als zweckmässige Koexistenzmassnahme betrachtet. Es

Koexistenz in der Schweiz

Schon im Jahre 2005 zeigte eine Studie von Agroscope Reckenholz-Tänikon ART,^[7] dass aus wissenschaftlicher Sicht eine Koexistenz der landwirtschaftlichen Produktion mit und ohne Gentechnik in der Schweiz möglich ist. Es braucht dazu allerdings technische und organisatorische Massnahmen sowie den Austausch von Informationen und Absprachen zwischen Nachbarn.

Die Autoren der Studie empfehlen, dass sich die Koexistenz an den Grundsätzen bestehender Systeme zur Identitätswahrung orientieren sollte. Solche Systeme sind in der Saatgutproduktion und beim Anbau von Kulturen mit spezifischen Qualitätsmerkmalen, (z. B. Süssmais) seit Langem etabliert. Weiter lässt sich die Vermischung von gentechnikfreien Produkten mit Produkten aus GVP durch technische und organisatorische Massnahmen reduzieren.

Koexistenz hängt bei jeder Kultur von den biologischen Eigenschaften der Pflanzen, der Landschaftsstruktur, der zur Verfügung stehenden offenen Ackerfläche und der Anbaudichte der gentechnisch veränderten Kultur ab. Deshalb muss die Notwendigkeit von Koexistenz-Massnahmen für jede Kulturpflanze separat beurteilt werden. Beispielsweise spielt bei Mais und Raps die Fremdbefruchtung von gentechnikfreien Feldern durch Pollen aus Feldern mit GVP eine wichtige Rolle. Hingegen hat dieser Eintragspfad bei Weizen nur eine geringe Bedeutung: Weizen ist weitgehend selbstbefruchtend und besitzt deshalb nur ein geringes Potenzial für Auskreuzung.

Da es aber trotz aller Sorgfalt nicht möglich sein wird, Vermischungen vollständig auszuschliessen, hat der Gesetzgeber rechtliche Toleranz- und Deklarationswerte festgelegt. Diese bezeichnen den prozentualen Anteil gentechnisch verändertem Material, der im Saatgut sowie in Lebens- und Futtermitteln enthalten sein darf, ohne dass diese speziell gekennzeichnet werden müssen. Die in der Studie erarbeiteten Empfehlungen gingen von einem Anteil von GVP in Lebens- und Futtermitteln aus, der dem in der Schweiz und in der EU gültigen Deklarationswert von 0,9 Prozent entspricht.

Eine zukünftige Koexistenzregelung für die Schweiz muss die Reinheitsansprüche der biologischen und der integrierten Produktion klären. Es ist somit unumgänglich, festzulegen, ob tiefere Grenzwerte juristisch geltend gemacht werden können, um zu entscheiden, ob bei Vermischungen ein wirtschaftlicher Schaden für gentechnikfreie Produkte vorliegt. Grundsätzlich gilt: Eine erfolgreiche Koexistenz bedingt gegenseitige Respekt der beteiligten Akteure und den Willen, allen Produktionsformen in der Landwirtschaft die gleichen Chancen zu geben.

OLIVIER SANVIDO

wird empfohlen, 2 Meter Isolationsabstand durch 1 Meter Pufferzone zu ersetzen.

- Alle Maschinen, Transportmittel und Lagerstellen sollten zweckmässig gereinigt werden, falls konventionelles Saatgut oder Erntegut nach genetisch verändertem Material gesät, geerntet, transportiert oder gelagert wird. Separate Maschinen oder Lagerstellen minimieren das Risiko einer Beimischung.

Die Arbeitsgruppe räumt ein, dass diese Empfehlungen in bestimmten Regionen mit kleineren Feldern, lang gestreckten Feldern oder kurzer Feldtiefe schwer durchführbar sein könnten. Als Alternativmassnahmen werden die Kommunikation zwischen den Landwirten zur Minimierung von Problemen einschliesslich freiwilliger Vereinbarungen über die Kennzeichnung der Ernte als 'GVO-haltig' sowie das Gruppieren von Feldern desselben Anbausystems vorgeschlagen.

Die Praktikabilität von Koexistenzmassnahmen im Maisanbau in der Schweiz ist von Sanvido et al.^[6] untersucht worden. Die Studie basiert auf existierenden Daten zur Grösse von Maisanbauflächen und auf geostatistischen Analysen von Luftaufnahmen landwirtschaftlicher Nutzflächen. Die Ergebnisse zeigen, dass die räumlichen Ressourcen es durchaus erlauben würden, Isolationsabstände für den Anbau von

transgenem Mais in der Schweiz einzuhalten. Die Autoren empfehlen jedoch auch zwischenbetriebliche Vereinbarungen für den Fall, dass in Regionen mit hoher Maisanbaudichte Isolationsabstände von 50 Metern festgesetzt werden (siehe Box).

KRITIK AN DER KOEXISTENZ IN DER EU

Die Vorschriften über die Koexistenz wurden kritisiert als «eine Herausforderung, welche den Anbau von GV-Kulturen in Europa zu lähmen droht»^[3], die damit verbundene Debatte als «lächerlich langatmig»^[8], und die daraus entstandenen strikten Vorschriften als «Beeinträchtigung des Allgemeinwohls und Einschränkung weiterer Innovation in der europäischen Landwirtschaft».^[9] Ramessar et al.^[8] bemängeln, dass

Jeder Landwirt, der GVP anbauen will, muss willkürliche und wissenschaftlich unvertretbare Koexistenzvorschriften umschiffen.

technisch veränderte Kulturpflanze das übertriebene Produktregistrierungsverfahren in Europa überwinden kann, jeder Landwirt, der sie anzubauen hofft, willkürliche und wissenschaftlich unvertretbare Koexistenzvorschriften umschiffen muss».

Sie beschreiben die EU-Koexistenzpolitik als ein willkürliches und inkonsequentes Vorschriftenbündel ohne rationale wissenschaftliche Grundlage, das die Erzeuger gentechnisch veränderter Produkte behindert, die Öffentlichkeit irreführt und den internationalen Handel mit unnötiger Komplexität belastet.

Der Schwerpunkt der Kritik bezieht sich weiter auf die Festlegung fester Isolationsabstände, die nach Devos et al.^[3] vier wichtige Anforderungen nicht berücksichtigen:

1. Sie sind in vielen Fällen wissenschaftlich gesehen übertrieben.
2. Sie lassen sich in der Praxis schwer umsetzen, ohne die Entscheidungsfreiheit der Landwirte zu gefährden, insbesondere in Gebieten, wo der Maisanbau einen erheblichen Anteil der Agrarfläche darstellt oder die Maisfelder klein und verstreut sind.
3. Sie sind unvereinbar mit der regionalen Heterogenität der Bewirtschaftung, darunter Anbaustrukturen sowie Merkmale und Verteilung von Feldern und Landschaft.
4. Sie stehen nicht im Verhältnis zu den wirtschaftlichen Anreizen wie potenzieller Gewinn durch den Anbau von GVP oder gentechnikfreien Anbau sowie allfällige Preisprämien nach Massgabe der lokalen Marktbedingungen.

Andere Autoren^[10] kritisieren, dass die in den Koexistenzregelungen der meisten EU-Mitgliedstaaten vorgeschriebenen Mindestabstände kleinere Agrarbetriebe diskriminieren. Dadurch würden Gebiete mit durchschnittlich kleineren Betrieben und Feldgrössen einen geringeren Anteil

an gentechnisch veränderten Kulturen und dadurch eine rückläufige Wettbewerbsfähigkeit verzeichnen. Als mögliche Lösung für solche Gebiete könnten sich die Landwirte darauf einigen, dass entweder alle oder keiner gentechnisch veränderte Pflanzen anbaut – was im letzteren Fall bedeutet, dass das Gebiet eine gentechnikfreie Zone würde. Aufgrund ihrer wirtschaftlichen Analyse empfehlen

die Verfasser eine Kombination von Ex-ante-Vorschriften und Ex-post-Haftungsregelungen. Diese sei ausschliesslichen Ex-ante-Vorschriften überlegen, ausser in dem trivialen Fall, in dem die Ex-ante-Regelungen den Anbau

von GVP völlig verbieten.

In ähnlichem Sinn sprechen Devos et al. von «der Ironie der angenommenen EU-Koexistenzpolitik»: Während sie ursprünglich zur Aufhebung des EU-Moratoriums für GVP beitrug, stellt sie jetzt dem Anbau von GVP ein neues Hindernis in den Weg, indem sie weite, feste Isolationsabstände als hauptsächliche Präventivmassnahme auferlegt.

FLEXIBLE REGLEMENTIERUNG GEFORDERT

Die aktuellen Koexistenzmassnahmen innerhalb der EU weisen die Verantwortung für die Trennungsfahren jenen Betrieben zu, die gentechnisch veränderte

Flexible Reglementierung unter Berücksichtigung des heterogenen Umfelds in der europäischen Landwirtschaft wäre für die Innovation und das Allgemeinwohl günstiger.

Produkte nutzen. Diese Regelung belastet innovative Marktteilnehmer mit einer zusätzlichen Haftpflicht und beeinträchtigt damit gemäss Mosher und Hurburgh^[9] das Allgemeinwohl und die Innovation. Negative Auswirkungen auf das Allgemeinwohl beruhen auf massiver Reglementierung, unsicherer Nachfrage und unbekannten Anreizen für differenzierte Erzeugnisse auf dem Markt. Die Verfasser merken an, dass eine flexible Reglementierung unter Berücksichtigung des heterogenen Umfelds in der europäischen Landwirtschaft für die Innovation und das Allgemeinwohl günstiger wäre.

Auch Devos et al.^[3] fordern eine Flexibilität der Ex-ante-Koexistenzvorschriften. Solche flexiblen Massnahmen liessen sich an die lokalen Bedingungen von Bewirtschaftung und Anbau anpassen, wären unter Landwirten untereinander verhandelbar und ermöglichten so eine regional und wirtschaftlich angepasste Koexistenz.

Ebenso empfiehlt das EU-Projekt SIG-MEA^[11], dass Koexistenzmassnahmen flexibel sein sollten und dem Grundsatz der Verhältnismässigkeit folgen. Es rät von rigiden Vorschriften und grossen Isolationsabständen ab. Und es hat eine Reihe von Massnahmen erarbeitet, die auf lokaler Ebene umgesetzt werden könnten und Faktoren wie Betriebsgrösse, Feldgrösse, Verhältnis von GVP zu nicht GVP derselben Art und den Vertrieb des Ernteguts berücksichtigen.

ERFAHRUNGEN IN PORTUGAL

Portugal verfügt über eine komplette Koexistenzregelung mit obligatorischen Fortbildungskursen, strengen Massnahmen zur Verhinderung der Auskreuzung und einem öffentlichen Entschädigungsfonds.^[8] Das System bietet jedoch in einem gewissen Mass auch die Flexibilität, die in der Kritik an der EU-Koexistenzpolitik gefordert wird.

So müssen sich Landwirte, die gentechnisch veränderten Mais anbauen wollen, in obligatorischen Fortbildungskursen über die Koexistenz von konventionellen, biologischen und gentechnisch veränderten Kulturen informieren. Der Inhalt der von Saatgutlieferanten oder Landwirtorganisationen veranstalteten Kurse wird vom portugiesischen Generaldirektorat für Ackerbau des Landwirtschaftsministeriums evaluiert und überwacht.^[12] Weiter sind die Landwirte verpflichtet, beim Anbau von GVP Pflanzensorte, Fläche, Stelle und beabsichtigte Koexistenzmassnahmen der regionalen Agrarbehörde zu melden und ihre unmittelbaren Nachbarn sowie Betriebe, mit denen sie landwirtschaftliche Maschinen teilen, schriftlich zu informieren. Weiter müssen sie mit den Agrarbehörden bei allen Kontroll- und Überwachungsmassnahmen zusammenarbeiten und über ihre Anbauverfahren Buch führen.^[13] Im portugiesischen Recht ist auch eine Ex-post-Haftung vorgesehen. Sie umfasst unter anderem einen Entschädigungsfonds, der durch eine Abgabe von vier Euro auf

den Preis eines Standardsacks gentechnisch veränderten Saatguts finanziert wird. Weiter sind Strafen für Landwirte vorgesehen, welche die Koexistenzvorschriften nicht einhalten. Interessant ist, dass sich der wichtigste Saatgutlieferant bereit erklärt hat, Schäden infolge zufälliger Auskreuzung sowie Vandalismus oder Zerstörung von Kulturen durch Gentechnikgegner zu vergüten.

Zu den technischen Trennungsmassnahmen gehören in Portugal Isolationsabstände, die 200 Meter zu Maisfeldern mit konventionellem Anbau und 300 Me-

ter zu Maisfeldern mit biologischem Anbau betragen. Weitere technische Massnahmen sind Schranken, Pufferzonen, die Planung von zeitlich versetztem Anbau (mindestens 20 Tage zwischen den Blütezeiten) sowie Richtli-

nien für den Umgang mit Saatgut und für die Lagerung. Als Alternative zu Isolationsabständen haben die Landwirte die Wahl zwischen verschiedenen Zeitpunkten der Aussaat oder einer Pufferzone von 20 Prozent, die gleichzeitig Teil einer Schutzzone für das Management von Schädlingsresistenz sein kann. In Übereinstimmung mit dem portugiesischen Koexistenzrecht wurde eine einzelne Gemeinde (Lagos, Algarve) als gentechnikfreie Zone anerkannt und Madeira war die erste gentechnikfreie Region der Europäischen Union.

Obwohl das portugiesische Koexistenzsystem recht komplex und strikt ist, erlaubt es doch eine gewisse Flexibilität der Isolierungsmassnahmen aufgrund freiwilliger Vereinbarungen unter Nachbarn. Die technischen Trennungsmassnahmen sind obligatorisch, können jedoch nach Massgabe der örtlichen Bedingungen abgeändert werden. Die portugiesischen Vorschriften bieten ausdrücklich die Gelegenheit zur Verringerung der Koexistenzkosten durch Zusammenarbeit, zum Beispiel die freiwillige Bildung von Landwirtgruppen zur Schaffung von Anbauzonen für den ausschliesslichen Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen derselben Sorte. Koexistenzmassnahmen werden nur zwischen den Landwirten der Anbauzone und ihren Nachbarn ausserhalb der Anbauzone erwartet. Eine kollektive Initiative dieser Art vermeidet komplizierte Massnahmen gegen Auskreuzung und kostspielige doppelte Betriebsmittel.^[8]

Eine Fallstudie über fünf Betriebe derselben Kooperative, die Bt-Mais anbauen, zeigt, dass Koexistenzregelungen wie die in Portugal geltenden nicht notwendigerweise zu höheren Erzeugungskosten führen, sofern diese Vorschriften flexibel genug sind.^[12] Konkret konnten die Mitglieder der Kooperative auf Isolationsabstände verzichten, weil die Felder nahe beisammen liegen und es keine Nachbarn mit konventionellem oder biologischem Maisanbau gibt.

Dies reduzierte die Ex-ante-Koexistenzkosten. Gleichzeitig bot ein Entschädigungsfonds, der für zufällige Auskreuzung

Obwohl das portugiesische Koexistenzsystem komplex und strikt ist, erlaubt es eine gewisse Flexibilität der Isolierungsmassnahmen aufgrund freiwilliger Vereinbarungen unter Nachbarn.

und dadurch allenfalls nötige Vernichtung der Ernte aufkommen würde, für die Landwirte einen grossen Anreiz zur Umstellung auf Bt-Mais. Die Tatsache, dass die Kooperative seit mehr als sieben Jahren existierte und sich die Mitglieder gut kannten und einander vertrauten, erleichterte das Erarbeiten einer freiwilligen Vereinbarung. Alles in allem zeigt die Fallstudie, dass sich eine flexible Ex-ante-Regelung zusammen mit klaren Ex-post-Haftungsbestimmungen für die wirksame Umsetzung von Koexistenzvorschriften in Europa günstig auswirken kann.

Aufgrund der fünfjährigen Erfahrung in Portugal kamen Quedas und Carvalho^[13] zu dem Schluss, dass die portugiesischen Maisanbauer die Koexistenz bisher als machbar und zweckmässig empfunden haben. Insbesondere hat es die freiwillige Festlegung von Anbauzonen kleinen Betrieben ermöglicht, sich für den Anbau von Bt-Maissorten zu entscheiden. Trotzdem ist der Anteil von Bt-Mais mit vier Prozent des gesamten Maisanbaus noch niedrig.

Insgesamt beweist aber Portugal, dass Koexistenz in einer relativ kleinräumig strukturierten Landwirtschaft möglich ist. Wenngleich es für die Zukunft noch einige Herausforderungen gibt, die es zu studieren gilt:

1. Die Auswirkungen einer Politik, die Landwirte, welche keine gentechnisch veränderten Pflanzen anbauen, bevorzugt. Zum Beispiel können Subventions-

regelungen die Umstellung auf GVP und die Festlegung von Produktionszonen behindern, was zur Diskriminierung kleiner Betriebe im Hinblick auf die Umstellung auf gentechnisch veränderte Kulturen führt.

2. Das zunehmende Interesse an umweltschonender Landwirtschaft in Verbindung mit der Verfügbarkeit von herbizidtoleranten Kulturen und Pflanzensorten. Dies wirft neue Fragen im Hinblick auf die Koexistenz auf.
3. Es ist weitere Forschung nötig über die Dynamik von Insektenpopulationen, Kosten-Gewinn-Analysen der Koexistenz und für die Erstellung von Genflussmodellen.

Die Erfahrungen in Portugal zeigen, dass flexible Ex-ante-Regelungen in Verbindung mit klaren Ex-post-Haftungsbestimmungen die Unsicherheit vermindern und freiwillige Vereinbarungen zwischen benachbarten Landwirten fördern.

Insgesamt lässt sich folgern, dass sich ein flexibler Ansatz als günstig für die wirksame Umsetzung von Koexistenzmassnahmen in Europa erweisen sollte und auf diese Weise die Wahlfreiheit von Verbrauchern und Erzeugern im Einklang mit ihren individuellen Präferenzen und wirtschaftlichen Gegebenheiten ermöglichen würde.

Insgesamt lässt sich folgern, dass sich ein flexibler Ansatz als günstig für die wirksame Umsetzung von Koexistenzmassnahmen in Europa erweisen sollte.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

1. Koexistenzvorschriften sollten wissenschaftlich begründet sein, leicht umzusetzen, konsistent, proportional und flexibel.
2. Koexistenzvorschriften sollten weder kleine Landwirtschaftsbetriebe diskriminieren, noch die Wahlfreiheit der Bauern gefährden oder einfach ein Moratorium ersetzen.

LITERATUR

- [1] Devos, Y., Demont, M., Dillen, K., Reheul, D., Kaiser, M., Sanvido, O. (2009) Coexistence of genetically modified (GM) and non-GM crops in the European Union. A review. *Agron Sustain Dev* 29, 11-30.
- [2] Czarnak-Klos, M., Rodriguez-Cerezo, E. (2010) European Coexistence Bureau Best Practice Documents for coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming: 1. Maize crop production. EUR 24509 EN. Seville: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.
- [3] Devos, Y., Demont, M., Sanvido, O. (2008) Coexistence in the EU – return of the moratorium on GM crops? *Nat Biotechnol* 26, 26: 1223-1225.
- [4] Commission of the European Communities (CEC) (2009) Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming. SEK (2009) 408. Brussels: Commission of the European Communities.
- [5] Gomez-Barbero, M., Berbel, J., Rodriguez-Cerezo, E. (2008) Adoption and performance of the first GM crop introduced in EU agriculture: Bt maize in Spain. EUR 22778 EN. Seville: European Commission, Joint Research Centre.
- [6] Sanvido, O., Widmer, F., Winzeler, M., Streit, B., Szerencsits, E., Bigler, F. (2008) Definition and feasibility of isolation distances for transgenic maize cultivation. *Transgenic Res* 17, 317-335.
- [7] Sanvido, O., Widmer, F., Winzeler, M., Streit, B., Szerencsits, E., Bigler, F. (2005) Koexistenz verschiedener landwirtschaftlicher Anbausysteme mit und ohne Gentechnik. Schriftenreihe der FAL 55. Agroscope FAL Reckenholz.
- [8] Ramessar, K., Capell, T., Twyman, R. M., Christou, P. (2010) Going to ridiculous lengths – European coexistence regulations for GM crops. *Nat Biotechnol* 28, 133-136.
- [9] Mosher, G., & Hurburgh, C. (2010) Transgenic plant risk: coexistence and economy. *Enc Biotechnol Agr Food* 1: 639-642.
- [10] Beckmann, V., Soregaroli, C., Wesseler, J. (2010) Ex-ante regulation and ex-post liability under uncertainty and irreversibility: Governing the coexistence of GM crops. *Econ* 4, 9.
- [11] Messéan, A., Squire, G., Perry, J., Angevin, F., Gomez, M., Townend, P., Sausse, C., Breckling, B., Langrell, S., Dzeroski, S., Sweet, J. (2009) Sustainable introduction of GM crops into European agriculture: a summary report of the FP6 SIGMEA research project. *Oléagineux, Corps Gras et Lipides* 16: 37-51.
- [12] Skevas, T., Fevereço, P., & Wesseler, J. (2010) Coexistence regulations and agriculture production: A case study of five Bt maize producers in Portugal. *Ecol Econ* 69, 2402-2408.
- [13] Quedas, M.F., & Carvalho, P.C. (2011) A quinquennium of coexistence in Portugal. Paper presented at: GMCC11, 26-28 October 2011, Vancouver, Canada.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen der Nutzung der Grünen Gentechnologie

Das Schweizer Gentechnikgesetz bildet zusammen mit den ergänzenden Vorschriften, die sich vor allem im Umweltschutzgesetz, im Tierschutzgesetz, im Landwirtschaftsgesetz und im Lebensmittelgesetz finden, das Regelwerk zum Schutz von Mensch und Umwelt vor den Risiken der Grünen Gentechnologie. Allerdings ist im Gesetzgebungsprozess von 1997 bis 2003 die Koexistenz von landwirtschaftlichen Produktionsformen mit und ohne gentechnisch veränderten Pflanzen nur ansatzweise geregelt worden. Darum ist auch die Wahlfreiheit der Konsumenten nicht ausreichend garantiert. Die rechtswissenschaftliche Forschung im Rahmen des NFP 59 hat das Schweizer Gentechnikrecht dahingehend analysiert, ob es für das zukünftige Nebeneinander verschiedener Landwirtschaftsformen und für die Konsumenten eine sichere regulatorische Rahmenordnung gewährleistet. Dazu wurden ein Vergleich ausländischer Rechtsordnungen durchgeführt sowie die völkerrechtlichen und europarechtlichen Vorgaben ermittelt. Zudem wurden die Verpflichtungen der Bundesverfassung sowie die Tragweite des bestehenden Gesetzesrechts analysiert.

RAINER J. SCHWEIZER
CHRISTOPH ERRASS
STEFAN KOHLER

VERGLEICH VERSCHIEDENER LÄNDER UND DER EUROPÄISCHEN UNION

USA

Die USA gehen grundsätzlich davon aus, dass gentechnisch veränderte Organismen (GVO), wenn sie einer Risikokontrolle unterzogen worden sind, kein grösseres Gefahrenpotenzial bergen als andere Produkte. Deshalb behandeln sie gentechnisch veränderte und nicht gentechnisch veränderte Produkte materiellrechtlich gleich. Ein eigenständiges Gentechnikgesetz besteht nicht. Stattdessen sind die Kontrollaufgaben an bereits bestehende Institute und Instrumente übertragen worden.

Die Grundlage des US-amerikanischen Gentechnikrechts bildet weitgehend das «Coordinated Framework for Regulation of Biotechnology» von 1986. Darin wird im Wesentlichen die Zusammenarbeit bereits bestehender staatlicher Institute bei der Kontrolle biologisch veränderter Produkte beschrieben. Die Rechtsordnung legt einen Schwerpunkt auf die Sanktionierung von Verstössen gegen die Kontrollvorgaben. Das Fehlen spezialgesetzlicher Regelungen zeigt sich insbesondere bei der Kennzeichnung gentechnisch veränderter Lebensmittel. Auf Unionsebene besteht für Produkte,

die GVO enthalten, keine Kennzeichnungspflicht. Es muss lediglich auf die Gesundheitsrisiken hingewiesen werden, die sich aus dem Gebrauch des Produkts ergeben können.

Auch fehlen explizite nationale Regelungen zur Koexistenz; stattdessen gibt es zahlreiche private sowie gliedstaatliche Regulierungen, die unter den Begriff der «Best Management Practices» fallen.

Dies führt insbesondere in Bezug auf die biologischen Anbaumethoden zu gewissen Spannungen. Das Bio-Zertifizierungssystem der USA, die «National Organic Program Standards» (NOP), richtet sich nicht nach der Art der Organismen, sondern ist prozessbezogen. Wenn die vorge-

schriebenen Prozessschritte eingehalten wurden, besteht ein Zertifizierungsanspruch, selbst wenn eine nicht beabsichtigte Vermischung mit GVO, insbesondere mit GVP, stattgefunden hat. Jedoch besitzen viele private Grossabnehmer und Verkaufsketten interne Bio-Richtlinien und verkaufen nur «GVO-freie» Produkte. Diese Produkte dürfen aber keine unbeabsichtigten Spuren von GVO enthalten. Somit muss, wer «GVO-freie» Produkte verkaufen will, selbst und auf eigene Kosten dafür sorgen, dass keine Vermischung mit gentechnisch verändertem Material stattfindet.

Die weitgehende rechtliche Gleichbehandlung von gentechnisch veränderten und nicht veränderten Produkten in der Zulassung führt in den USA zu einer Bevorzugung der Produktion von GVP. Dies nicht zuletzt deshalb, weil die Agroindustrie grossen Einfluss auf die Kontrollverfahren hat.

Abbildung 2.2: Ernte von gentechnisch verändertem Soja in den USA



In den USA fehlen explizite nationale Regelungen zur Koexistenz. Stattdessen gibt es zahlreiche private sowie gliedstaatliche Regulierungen, die unter den Begriff der «Best Management Practices» fallen.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Die rechtliche Gleichbehandlung, das heisst, das Fehlen spezieller Regelungen für gentechnisch veränderte Pflanzen, führt faktisch zu einer Bevorzugung der Produktion mit gentechnisch veränderten Organismen, nicht zuletzt auch, weil die Agroindustrie erheblichen Einfluss auf die angewendeten Kontrollverfahren hat. In jüngster Zeit trägt die Unionsregierung den ökologischen Auswirkungen der Produktion von GVP jedoch vermehrt Rechnung.

Europäische Union

Die Europäische Union regelt die Gentechnik ausserhalb geschlossener Systeme hauptsächlich mittels der «Freisetzungsrichtlinie»¹ sowie mit weiteren Verordnungen.² Wesentliche Ziele des EU-Rechts sind sichere, transparente Produktionsprozesse und entsprechend sichere Produkte, die Achtung der Interessen der Konsumenten sowie die Erhaltung der gentechnikfreien Produktion.

Bezüglich der Koexistenz wurden die Mitgliedstaaten in einer Empfehlung der

Kommission³ zwar zum Erlass entsprechender Vorschriften aufgerufen, jedoch nicht dazu verpflichtet. Es war ihnen aber nicht gestattet, das Inverkehrbringen von zugelassenen GVO zu verbieten, einzuschränken oder sonstwie zu behindern. Erst etwa die Hälfte der Mitgliedstaaten hat bisher Koexistenzregeln erlassen. Gemäss dem EU-Naturschutzrecht ist die Errichtung von Schutzgebieten zulässig; das Kriterium dafür bildet aber eine Umweltverträglichkeitsprüfung⁴ und nicht der politische Wille, keine GVP anzubauen. Viele Regionen befürworten jedoch solche lokalen Verbote von gentechnisch veränderten Organismen und haben sich in einer Allianz GVO-freier Regionen zusammengeschlossen, welche namentlich in der «Charta von Florenz» von 2005 ihre Grundsätze verankert hat.

In Zukunft werden in der EU sehr wahrscheinlich gentechnikfreie Regionen nicht nur aus ökologischen Gründen, sondern auch aus anderen, etwa sozioökonomischen oder regionalpolitischen, erlaubt sein. Denn die Kommission hat am 13. Juli 2010 mit einer Empfehlung⁵ neue Leitlinien zur Koexistenz vorgeschlagen, welche die Mitgliedstaaten auffordern, den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) so zu regeln, dass verschiedene landwirtschaftliche Systeme mit

oder ohne Gentechnik auf Dauer nebeneinander bestehen können. Dabei sind auch nationale Anbauvorschriften möglich, welche die Kennzeichnungsschwellenwerte für zufällige, technisch unvermeidbare Einträge von GVO deutlich unter die

bisherigen 0,9 Prozent senken. Zudem sehen die Leitlinien auch diverse Möglichkeiten zur Ausweisung von «GVO-freien Gebieten» vor.

Das Europäische Parlament hat 2011 den Gesetzesvorschlag der EU-Kommission bezüglich

des Spielraumes der Mitgliedstaaten noch erweitert und unter anderem beschlossen, dass die Mitgliedsländer das Recht haben sollen, den Anbau von GVP einzuschränken oder zu untersagen.⁶ Der Beschluss des Europäischen Parlaments ist jedoch noch nicht endgültig. Es muss angemerkt werden, dass verschiedene dieser Rechtsentwicklungen in der EU unter den EU-Grundsätzen des freien Warenverkehrs⁷ und den WTO-Verboten von Handelshemmnissen rechtlich keineswegs unbestritten sind.

Die bisherigen Koexistenzerlasse der Mitgliedstaaten sind sehr heterogen, wie nachfolgend anhand einiger Länder gezeigt wird.⁸

Ziele des EU-Rechts zur Regelung der Gentechnik sind sichere und transparente Produktionsprozesse, die Achtung der Interessen der Konsumenten sowie die Erhaltung der gentechnikfreien Produktion.

In der Europäischen Union besteht eine starke Tendenz, die Mitgliedsstaaten zu ermächtigen, eigenständig gentechnikfreie Regionen auszuscheiden.

Österreich

Der Bundesstaat Österreich verfügt über keine umfassende Bundeskompetenz im Bereich des Einsatzes der Grünen Gentechnologie, namentlich weil die Bundesländer wichtige Umweltschutzkompetenzen haben. Ungeachtet des Gentechnikgesetzes des Bundes ist die Verantwortung zur Einführung geeigneter Koexistenzmassnahmen weitgehend in der Verantwortung der Bundesländer verblieben.

Im Jahr 2004 wurden nationale Koexistenzempfehlungen veröffentlicht. Auf dieser Grundlage haben alle Bundesländer mit Ausnahme von Vorarlberg Koexistenzregelungen beschlossen und hierzu sogenannte «Gentechnik-Vorsorgegesetze» erlassen.

Das Kärntner Gentechnik-Vorsorgegesetz (K-GtVG)⁹ sieht vor, dass jeder Landwirt, der gentechnisch veränderte Kulturen anbaut, einer Anmelde- beziehungsweise Bewilligungspflicht unterliegt. Das Freisetzen von GVP ist nur erlaubt, wenn eine Verunreinigung von anderen Kulturen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik vermieden wird.¹⁰

Wer GVO ausbringt, hat die Eigentümer der angrenzenden Grundstücke über die beabsichtigte Nutzung zu verständigen und diese Informationen zusätzlich im Fachblatt der Landwirtschaftskammer

(«Der Kärntner Bauer») und in einer im Bundesland weitverbreiteten Tageszeitung zu veröffentlichen.¹¹

Kommt es zu einer unbeabsichtigten Vermischung, so kann die Bezirksverwaltungsbehörde den Ausbringer zu einer Entschädigung verpflichten. Die Haftungsregelung ist jedoch subsidiär. Die Bezirksverwaltungsbehörde entscheidet nur, falls keine zivilrechtliche Einigung zwischen den Beteiligten zustande kommt.¹²

Tschechien

Tschechien gehört zu den Staaten, in denen schon seit längerer Zeit gentechnisch veränderte Kulturen angebaut werden.

Als 2003 die EG-Verordnung 1829/2003¹³ erlassen wurde, stand in Tschechien der Anbau von gentechnisch verändertem Mais kurz bevor. Um den Anbau nicht zu verzögern, wurden vorübergehende Koexistenzbestimmungen erlassen, welche in diesem Einzelfall die Koexistenz für den bevorstehenden Maisanbau reglementieren sollten.

Die endgültige Koexistenzregelung wurde im Jahr 2005 erlassen. Sie findet ihre Grundlage im Landwirtschaftsgesetz¹⁴ sowie in der dazugehörigen Ausführungsverordnung.¹⁵ Zusätzliche Bestimmungen finden sich im Gentechnikgesetz,¹⁶ wo neben der Pflicht für die Ausbringer gentechnisch veränderter

Der Bundesstaat Österreich verfügt über keine umfassende Bundeskompetenz im Bereich des Einsatzes der Grünen Gentechnologie.

Abbildung 2.3: Landwirtschaft im tschechischen Böhmen



In Tschechien werden schon lange gentechnisch veränderte Kulturen angebaut. Die tschechische Koexistenzregelung weist eine, verglichen mit anderen Ländern, geringe Regelungsdichte auf.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Organismen, einen Notfallplan zu erstellen, auch einzelne haftpflichtrechtliche Verantwortlichkeiten konkretisiert werden.

Das tschechische Koexistenzrecht auferlegt denjenigen Personen, welche GVP anbauen, die Pflicht, die Nachbarn und die Behörden zu informieren, das Gelände zu markieren, Sicherheitsabstände einzuhalten und spezifische Daten über den Anbau fünf Jahre aufzubewahren. Die vom Gesetz vorgesehenen Sicherheitsabstände differieren je nach Pflanzensorte und berücksichtigen, ob

im Nachbarfeld biologischer oder konventioneller Anbau betrieben wird.

Damit weist das tschechische Koexistenzrecht eine, verglichen mit anderen Ländern, geringe Regelungsdichte auf. Die Anbaufläche von gentechnisch verändertem Mais ist bis 2008 kontinuierlich angestiegen, seither jedoch wieder zurückgegangen. Der Anbau von gentechnisch veränderten Kartoffeln wurde sogar ganz eingestellt. Dem liegen jedoch keine neuen politischen oder gesetzgeberischen Massnahmen zugrunde.

Frankreich

Im Jahr 2007 wurde in Frankreich auf einer Fläche von 21'147 Hektaren gentechnisch veränderter Mais (MON810) angebaut. Damit nahm Frankreich den zweiten Platz in der Liste der Produzenten von GVP ein. Seit 2008 werden in Frankreich jedoch keine gentechnisch veränderten Kulturen mehr angebaut. Der Grund dafür ist eine tiefgreifende Gesetzesrevision in Verbindung mit einem Verbot des Anbaus des Maises MON810.¹⁷

Die gesetzlichen Änderungen führten nicht nur zu zahlreichen Modifikationen des Gentechnikrechts (z. B. zu einer Neugestaltung der institutionellen Organisation, Veränderungen im Registrierungsverfahren, einer Verbesserung des Systems zur Information der Öffentlichkeit), sondern beinhalten auch erstmals Vorschriften zur Koexistenz. Diese wird als Teilbereich des Gentechnikrechts im dritten Titel des «Code de l'environnement» und dem fünften Titel des «Code rural» geregelt. Dabei handelt es sich jedoch lediglich um Kompetenzgrundlagen.¹⁸ Die Ausführungsbestimmungen liegen im Entwurf vor und wurden der EU notifiziert.¹⁹ Sie schreiben Sicherheitsabstände vor, welche zwar nach der angebauten Kultur, nicht jedoch nach der Produktionsweise des Nachbarn (konventionell oder biologisch)

unterscheiden. Maschinen und die anderen Geräte, welche für den Anbau von GVP verwendet werden, müssen gereinigt werden. Zudem besteht für den Anbauer von GVP eine fünfjährige Aufbewahrungspflicht bezüglich der Informationen über den Anbau.

Umweltschutzgebiete sowie Produzenten, die einen Herkunftsschutz beanspruchen können – das sind Unternehmer, die nach einem Qualitätslabel wie zum Beispiel AOC produzieren –, haben einen weitergehenden Schutzanspruch. In diesen Gebieten kann der Anbau von gentechnisch veränderten Kulturen sogar verboten werden.²⁰

Wer GVP ausbringen will, hat nach dem «Code rural»²¹ sowohl die zuständige Behörde als auch die umliegenden Nachbarn über den geplanten Anbau zu informieren. Die zuständige Behörde führt auf der Grundlage dieser Informationen ein öffentliches, über Internet zugängliches Standortregister. Da jedoch zur Zeit in Frankreich kein Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen stattfindet, zeigt das Register den Stand des Anbaus vor der Gesetzesänderung.

Die Haftung im Falle einer Vermischung ist als Gefährdungshaftung ausgestaltet, das heisst, der Ausbringer haftet, auch wenn er alle gesetzlichen Koexistenz-

Noch im Jahr 2007 wurde in Frankreich grossflächig gentechnisch veränderter Mais angebaut. Nach einer Gesetzesrevision und dem Verbot des Anbaus dieser Maissorte gibt es keine gentechnisch veränderten Kulturen mehr.

vorschriften beachtet hat. Eine Haftpflicht entsteht jedoch nur dann, wenn auf Feldern in unmittelbarer Nähe und während derselben Anbauperiode eine Vermischung von gentechnisch veränderten mit nicht gentechnisch veränderten Kulturen verursacht wird und deshalb die Erzeugnisse der benachbarten Felder als gentechnisch veränderte Erzeugnisse deklariert werden müssen. Zur Sicherstellung von genügendem Haftungssubstrat hat jeder Ausbringer von GVO ein Garantieversprechen abzugeben.²²

Dänemark

Das dänische Parlament verabschiedete 2004 ein Rahmengesetz, den 'Act on the Growing etc. of Genetically Modified Crops'.²³ Gestützt darauf hat das Ministerium für Lebensmittel, Landwirtschaft und Fischerei verschiedene verbindliche Koexistenzmassnahmen erlassen.²⁴

Gemäss diesen Gesetzen brauchen alle am Produktionsprozess von GVO beteiligten Personen eine Zulassung. Für den Anbau der unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kulturen gibt es Vorschriften über deren zeitlichen Abstand, über spezifische Mindestabstände sowie über den Umgang mit der Aussaat und den geernteten Kulturen. Abweichungen von diesen Vorschriften sind durch zivilrechtliche Vereinbarungen mit dem Nachbarn möglich.

Weiter besteht die Verpflichtung, sowohl die Behörden als auch die Nachbarn über die Details des Anbaus von gentechnisch veränderten Pflanzen zu informieren. Angemessene Informationen müssen auch Besitzer oder Nutzer von Fahrzeugen sowie Transportunternehmen oder andere Personen erhalten, die im Auftrag des Anbauers mit gentechnisch veränderten Kulturen umgehen oder solche transportieren.

Wenn es trotz Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften zu einer ungewollten Vermischung kommt, greift eine, wenn auch restriktive, Staatshaftung. Diese gleicht Schäden aus, die innerhalb derselben Anbauperiode entstanden sind. Das Geld kommt aus einem Haftungsfonds, welcher aus öffentlich-rechtlichen Abgaben der Anbieter von GVO finanziert wird.

Bisher gibt es in Dänemark zwar noch keinen Anbau von GVP, viele Bauern haben aber bereits den dafür notwendigen Fähigkeitsausweis erworben.

Bundesrepublik Deutschland

Mit der Revision des Gentechnikgesetzes (GenTG)²⁵ im Jahr 2008 wurden erstmals verbindliche Koexistenzbestimmungen in diesen Erlass integriert. Paragraph 16b bildet die Grundlage für die deutsche Koexistenzverordnung, die Gentechnik-Pflanzenerzeugungsverordnung.²⁶ Diese Verordnung auferlegt allen, die GVO

Abbildung 2.4: Aussaat von gentechnisch verändertem Weizen



Die Maschinen, die im Feldversuch in Zürich-Reckenholz für die Aussaat von gentechnisch verändertem Weizen benutzt wurden, mussten nach dem Einsatz sorgfältig gereinigt werden. Massnahmen zur Säuberung von Maschinen und Geräten, die mit GVP in Kontakt kamen, sind in den meisten Ländern Teil der Koexistenzregelungen.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Zudem hat der Anbauer von GVP die Pflicht, vor der erstmaligen Aussaat oder Anpflanzung bei der nach Landesrecht zuständigen Behörde oder einer anderen nach Landesrecht beauftragten Stelle anzufragen, ob und inwieweit in seinem Fall besondere Bedingungen für die Verwendung zum Schutz besonderer Ökosysteme, Umweltgegebenheiten oder geografischer Gebiete einschlägig sind.

Beim Anbau von GVP sind Mindestabstände einzuhalten. Im Sinne einer Generalklausel schreibt die Gentechnik-Pflanzenerzeugungsverordnung für alle Bewirtschaftungsmassnahmen einschliesslich der Ernte vor, dass Einträge von gentechnisch veränderten Organismen in fremde Grundstücke durch geeignete Techniken auf das Mindestmass zu beschränken sind.

Zudem sollen Einrichtungen,

ausbringen, die Pflicht, die Nachbarn über den Anbau sowie über folgende Punkte zu informieren: Name und Grundstück des Anbauers, Grösse der Anbaufläche, Pflanzenart sowie die Bezeichnung und den späteren Erkennungsmarker der gentechnischen Veränderung. Für den Maisanbau gelten Personen bis zu einem Umkreis von 150 Metern als Nachbarn, bei ökologischem Anbau sogar bis zu einem Umkreis von 300 Metern.

Maschinen und Geräte, die der Erzeuger zur Aussaat, zur Ernte, zur Aufbereitung oder zur Beförderung von gentechnisch verändertem Saat-, Pflanz- oder Erntegut eingesetzt hat, sorgfältig gereinigt werden, bevor sie für nicht gentechnisch verändertes Saat-, Pflanz- oder Erntegut eingesetzt werden.²⁷ Wenn der Anbau von GVP zu Ende ist, ist die Anbaufläche auf Durchwuchs zu überwachen und dieser allenfalls zu beseitigen.

Vorschriften, welche den Schutz des Nachbarn betreffen, können mit dessen Zustimmung wegbedungen werden. Diese Abmachungen sind der zuständigen Behörde zu melden. Damit diese ihre Überwachungsfunktion besser wahrnehmen kann, unterstehen die Anbauer bestimmten Aufzeichnungs- und Aufbewahrungspflichten.

Zentral sind die Haftungsbestimmungen: Auch unbeabsichtigte

Vermischungen, die trotz Einhaltens der gesetzlichen Koexistenzvorschriften eintreten, können zu Entschädigungsansprüchen führen. Das Bürgerliche Gesetzbuch (BGB) gewährt dem Eigentümer eines Grundstücks einen Entschädigungsanspruch, wenn er eine wesentliche ortsübliche Beeinträchtigung dulden muss, die nicht durch wirtschaftlich zumutbare Massnahmen unterbunden werden kann und welche die ortsübliche Benutzung seines Grundstücks oder dessen Ertrag über das zumutbare Mass hinaus beeinträchtigt.²⁸

Italien

Das Koexistenzrecht fällt in Italien in den Zuständigkeitsbereich der Regionen. Deswegen hat das Verfassungsgericht das von der italienischen Regierung erlassene

Das deutsche Gentechnikrecht gewährt Schadenersatz auch bei unbeabsichtigten Vermischungen.

In Italien fällt das Koexistenzrecht in den Zuständigkeitsbereich der Regionen. Das von der Regierung erlassene Gesetz zur Koexistenz wurde deshalb für verfassungswidrig erklärt.

Gesetz²⁹, welches Vorschriften zur Koexistenz für alle Regionen enthielt, für verfassungswidrig erklärt.³⁰ Da es seit dem Urteil rechtlich möglich ist, GVP anzubauen, haben viele Regionen (u. a. das Piemont, Südtirol und die Toskana) ein vorübergehendes Anbauverbot erlassen.

Ein Komitee von Experten und Vertretern aller italienischen Regionen, das «Comitato in materia di coesistenza tra colture transgeniche, convenzionali e biologiche», hat auf informeller Ebene spezifische Koexistenzmassnahmen für die Kulturen von Mais, Raps und Soja vorgeschlagen. Die Massnahmen sind äusserst umfangreich und umfassen den gesamten Produktionsprozess.

Vorgeschlagen wurde neben der Schaffung eines Informationssystems auch die Einführung eines Beviligungsverfahrens für das Ausbringen von GVO sowie die Errichtung eines Haftungsfonds für den Ausgleich von Schäden, die durch unbeabsichtigte Vermischungen entstehen. Die Vorschläge des Komitees sind zwar zahlreich, doch nicht besonders detailliert. So bleibt es letztlich den Regionen überlassen, wie – sofern überhaupt – eine Massnahme gesetzlich genau umgesetzt werden soll.

Die Mehrheit der italienischen Regionen hat sich gegen den Anbau gentechnisch veränderter Kulturen ausgesprochen. Um einen solchen zu verhindern, bestehen heute mehrere regionale Anbauverbote für gentechnisch veränderte Pflanzen, die zwar als Übergangsbestimmungen ausgestaltet wurden, politisch aber den Charakter von Moratorien tragen. Ein Beispiel für solche Bestimmungen gibt es für die Region Südtirol im Landesgesetz über gentechnisch veränderte Organismen in der Landwirtschaft.³¹

Ursprünglich war das Anbauverbot befristet, diese Befristung wurde 2011 jedoch aufgehoben. Wann die ersten Moratorien durch technische Regelungen zur Koexistenz ersetzt werden, ist ungewiss.

Spanien

Als einziger EU-Staat nutzt Spanien seit mehreren Jahren gentechnisch veränderte Pflanzen in einem nennenswerten Umfang kommerziell. 1998 begannen die spanischen Landwirte mit dem Anbau von insektenresistentem Bt-Mais (MON810). In Regionen, wo der Befall mit dem Maiszünsler sehr hoch ist, scheint sich der Anbau von gentechnisch verändertem Mais als eine wirtschaftlich attraktive Lösung etabliert zu haben. So betrug die Anbaufläche von gentechnisch verändertem Mais in Spanien im Jahre 2011 97'325 Hektaren.

Obwohl entsprechende Bemühungen seit 2004 im Gange sind, ist es bisher nicht gelungen, eine verbindliche Koexistenzregelung auf nationaler Ebene zu erlassen. In der Praxis folgt man deshalb den (informellen) Empfehlungen der Saatguthersteller und insbesondere jenen der nationalen Vereinigung der Saatgutzüchter (Asociación Nacional de Obtenedores Vegetales).

Die Empfehlungen sehen vor, dass zum Nachbarfeld ein Abstand von 20 Meter eingehalten werden soll. Alternativ kann am Feldrand eine Mantelsaat als Pufferzone gesät werden. Beides ist jedoch nicht nötig, wenn die Aussaat auf den benachbarten Feldern nicht in demselben Zeitfenster (2 – 4 Wochen) erfolgt. Zudem ist darauf zu achten, dass das gentechnisch veränderte Saatgut nicht mit konventionellem Saatgut vermischt wird und die Maschinen nach der Ernte gründlich gereinigt werden.

Auch die Gliedstaaten, die autonomen Gemeinschaften, verfügen über Kompetenzen zur Regelung der Gentechnologie. Ob sie auch die Koexistenz regeln könnten, ist unklar. Zurzeit hat keine autonome Gemeinschaft Koexistenzvorschriften erlassen. Die Gemeinschaft Baskenland hat zwar 2009 ein Gesetz zur Regelung der Koexistenz erlassen, welches eine behördliche Genehmigung für den Anbau, Massnahmen zur Vermeidung von Verunreinigungen

Spanien ist es bisher nicht gelungen, eine verbindliche Koexistenzregelung auf nationaler Ebene zu erlassen.

und Vermischungen sowie eine Inspektion durch die Behörden vorgesehen hat.³² Dieses wurde jedoch 2010 wegen Verfahrensmängeln von der nationalen Regierung aufgehoben.

Portugal

Portugal hat einen zunehmenden Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen zu verzeichnen, namentlich von Bt-Mais MON810. 2011 lag die Anbaufläche bei 7'723 Hektaren.

Portugal hat im Jahr 2005 mit dem Erlass eines Gesetzes³³ als einer der ersten EU-Staaten koexistenzrechtliche Regelungen eingeführt. Demgemäss müssen

sich Anbauer gentechnisch veränderter Pflanzen einer obligatorischen Schulung unterziehen. Sowohl die regionalen Behörden als auch die Nachbarn sind über den Anbau zu informieren. Vorgeschrieben werden eine genaue Anzahl möglicher Anbaureihen sowie Mindestabstände, die zwingend zu beachten sind.

Ebenfalls hat die anbauende Person unterschiedliche Blütezeiten von GVP und konventionellen Saaten vorzusehen.

Um eine Vermischung mit konventionellen Saaten zu vermeiden, sind Verpackungen klar zu kennzeichnen, separat aufzubewahren und zu verschliessen. Verwendete Maschinen sind nach jeder Verwendung gründlich zu reinigen. Bezüglich insektenresistenter Kulturen

gentechnisch veränderter Pflanzen muss die anbauende Person zudem Schutzzonen für konventionelle Kulturen errichten. Im Verhältnis zur gesamten vorhandenen Anbaufläche müssen diese Schutzzonen mindestens 20 Prozent betragen.

Saatguthändler müssen die anbauenden Landwirte bei jedem Kauf mittels eines Merkblattes, das zuvor von der zuständigen Behörde überprüft wurde, über die einschlägigen koexistenzrechtlichen

Grundlagen informieren. Zudem sind sie gegenüber den regionalen Behörden verpflichtet, die jeweiligen Käufer von GVO zu melden.

Bei Widerhandlungen gegen koexistenz-

rechtliche Verpflichtungen drohen Einzelpersonen Geldstrafen bis zu 3'700 Euro und Unternehmen bis zu 44'800 Euro.

Die regionalen sowie die nationalen Behörden nehmen vorwiegend Kontroll- und Überwachungsfunktionen der beschriebenen Pflichten wahr.

VORGABEN DES INTERNATIONALEN UND DES EUROPÄISCHEN RECHTS

Internationales Recht

Aus dem internationalen Recht ist für die Regulierung der Koexistenz das Handelsrecht relevant. Massgeblich sind namentlich das Allgemeine Zoll- und Handelsabkommen (GATT),³⁴ das Übereinkommen über die Anwendung gesundheitspolizeilicher

und pflanzenschutzrechtlicher Massnahmen (SPS)³⁵ und das Übereinkommen über technische Handelshemmnisse (TBT).^{36[1]} Diese statuieren unter anderem das Gebot der Meistbegünstigung, welches fordert, dass gleichartige ausländische Produkte («Like Products») wie die entsprechenden inländischen Produkte behandelt werden müssen. Ob gentechnisch veränderte und nicht gentechnisch veränderte Produkte als gleichartig

gelten, kann nicht mit Sicherheit festgestellt

werden, da entsprechende Entscheide der zuständigen Streitbeilegungsinstanzen der Welthandelsorganisation (WTO) bisher fehlen.^{[2][3][4][5]} Und selbst

wenn es sich um gleichartige Produkte handeln würde, so gibt es unter Umständen Rechtfertigungsgründe, welche eine solche Ungleichbehandlung trotzdem erlauben würden. Somit lässt sich unseres Erachtens nicht antizipieren, welche Vorgaben das WTO-Recht einer schweizerischen Koexistenzordnung macht.

Recht der Europäischen Union

Grundsätzlich ist die Schweiz als Nicht-EU-Mitglied nicht gehalten, das Gentechnikrecht der Europäischen Union zu respektieren, soweit nicht bilaterale Verträge wie das Freihandelsabkommen sie in einzelnen Punkten dazu verpflichten.

Die Schweiz kann aber aus diesem zweifellos vielerlei Anregungen ziehen und sie ist auch an einem laufenden Erfahrungsaustausch mit der EU und deren Mitgliedstaaten (z. B. in koordinierenden Gremien wie COEX-NET) sehr interessiert. Es besteht darüber hinaus für die Schweiz nicht nur angesichts des intensiven Warenaustausches mit der EU ein Interesse, sondern sogar eine Selbstverpflichtung im Bundesgesetz über die

technischen Handelshemmnisse, keine unzulässigen Hindernisse des Warenverkehrs aufzubauen.³⁷ Vorbehalten bleibt, dass besondere Sicherheits-, Ökologie-, Wirtschafts- oder Kulturinteressen geltend gemacht werden

können, wie dies beispielsweise für den verfassungsrechtlich gebotenen Schutz der Würde der Kreatur gilt. Daneben verpflichtet das Bundesgesetz über die Gentechnik im Ausserhumanbereich (Gentechnikgesetz, GTG)³⁸ den Bundesrat, auf die Aussenhandelsbeziehungen Rücksicht zu nehmen.³⁹ Zusätzlich hat die Schweiz, besonders entlang der Landesgrenze, auch nachbarrechtliches Interesse an einer Abstimmung mit den sie umgebenden vier EU-Mitgliedstaaten und dem EWR-Staat Fürstentum Liechtenstein, die alle eine sorgfältige Sicherung der Produktion von nicht gentechnisch veränderten Pflanzen wünschen.

ANALYSE DES GELTENDEN RECHTS DER SCHWEIZ

Grundlagen

Der Umgang mit der Gentechnologie wird im Wesentlichen durch das *Gentechnikgesetz* (GTG) bestimmt. Als gentechnisch veränderte Organismen im Sinne des GTG gelten alle Organismen, deren genetisches Material in einer Weise verändert wurde, wie es unter natürlichen Bedingungen, bei Kreuzungen oder bei natürlichen Rekombinationen nicht vorkommt.⁴⁰ Deshalb fallen jene Verfahren, welche zwar vom Menschen durchgeführt werden, jedoch ähnlich wie die künstliche Besamung, die Selektionszüchtung oder die Handbestäubung nicht direkt in das genetische Material eingreifen, nicht in den Anwendungsbereich des GTG. Der Umgang mit GVO ist im Hinblick auf den Schutz von Mensch, Tier, Umwelt und biologischer Vielfalt⁴¹ sowie im Hinblick auf den Schutz von Produktionen ohne gentechnisch veränderte Organismen⁴² und die Achtung der Würde der Kreatur⁴³ bewilligungspflichtig. Die Bewilligungspflicht umfasst Tätigkeiten in geschlossenen Systemen, Freisetzungsversuche und das Inverkehrbringen, wobei keine kommerzielle Absicht bestehen muss.

Die Koexistenzregelung des Gentechnikgesetzes

Die Koexistenz wird bisher durch die Grundsatznorm von Art. 7 sowie punktuell durch Art. 15, 16 und 17 GTG sowie Art. 8 und 9 der Freisetzungsverordnung (FrSV) geregelt. Mittelbar wird die

Koexistenzordnung unter anderem durch das Haftpflichtrecht gemäss Art. 30 und die Strafbestimmungen von Art. 35 GTG abgesichert.

Art. 7 GTG lautet: *Schutz der Produktion ohne gentechnisch veränderte Organismen und der Wahlfreiheit.*

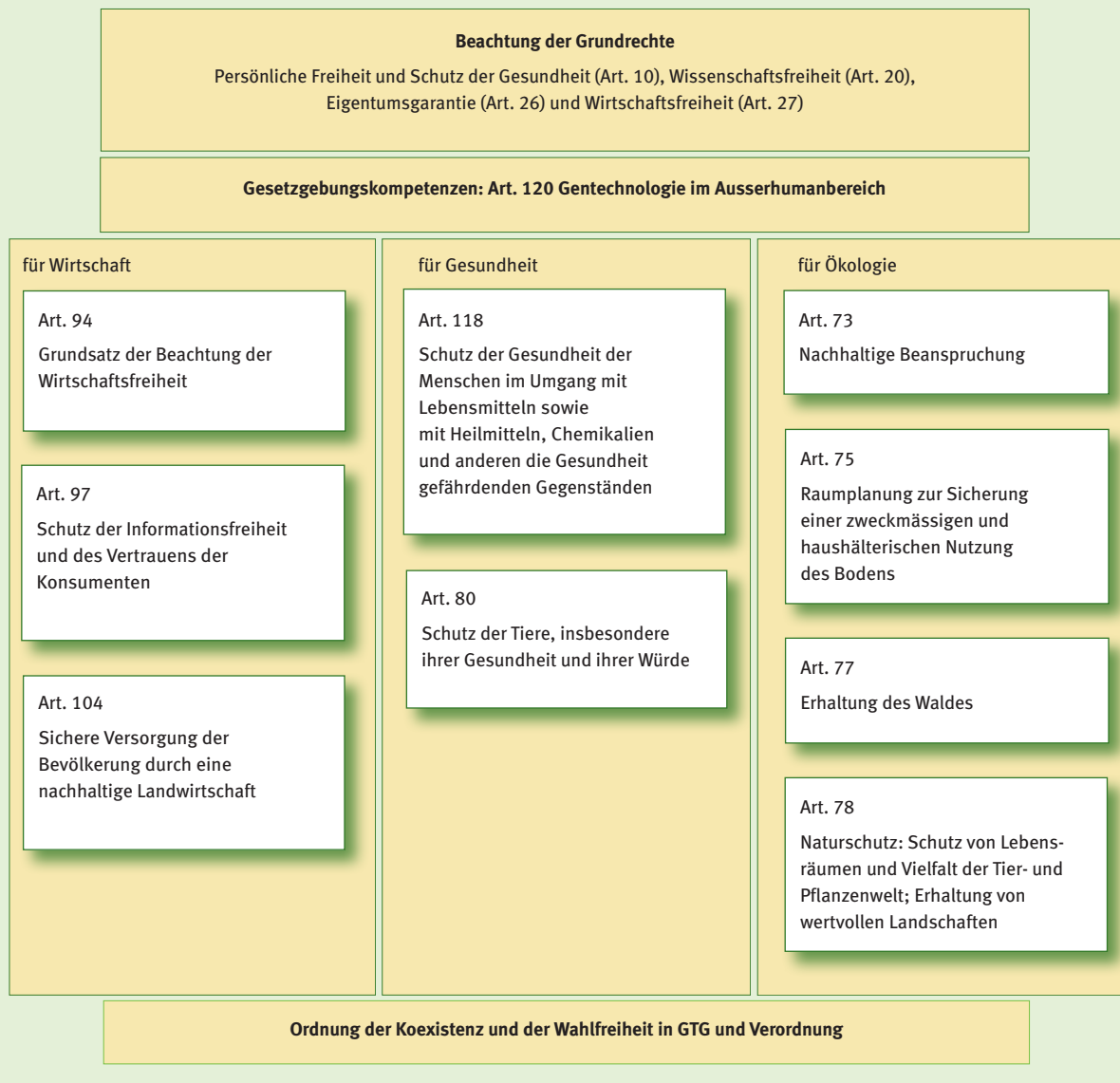
Mit gentechnisch veränderten Organismen darf nur so umgegangen werden, dass ihre Stoffwechselprodukte oder ihre Abfälle die Produktion von Erzeugnissen ohne gentechnisch veränderte Organismen sowie die Wahlfreiheit der Konsumenten nicht beeinträchtigen.

Der Artikel schützt die beiden Rechtsgüter der Produktionsfreiheit und der Wahlfreiheit der Konsumenten, wobei ein Schutzziel zugleich auch dem anderen dient. Der Artikel gibt lediglich das Ziel vor, nennt jedoch nicht die zu treffenden Massnahmen. Er stipuliert im Sinne des Vorsorgeprinzips⁴⁴ eine präventive Sorgfaltspflicht zur Vermeidung jeglicher, auch nicht beabsichtigter, «Beeinträchtigung» der gentechnikfreien Produktion und der gentechnikfreien Produkte. Die Sorgfaltspflicht umfasst nicht nur die Kulturen und die Produkte gleicher Verwendungsweise (gentechnisch verändertes Saatgut A im Verhältnis zu nicht gentechnisch verändertem Saatgut A), sondern jeglichen Einsatz von Gentechnik in der Produktion. Zudem dürfen auch die Stoffwechselprodukte und die Abfälle von GVO die Produktion und die Produkte ohne GVO nicht beeinträchtigen.

Abbildung 2.5: Die gesetzlichen Grundlagen für eine Koexistenzregelung in der Schweiz

Die Bundesverfassung enthält viele Normen, welche die Gentechnologie im Ausserhumanbereich zumindest teilweise betreffen. Sie bilden die Ausgangslage für die Erarbeitung der Koexistenzregelung im Gentechnikgesetz und der Koexistenzverordnung.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis



Unter ‹Beeinträchtigung› wird etwas ökonomisch Negatives verstanden. Entsprechend sind die Massnahmen derart auszugestalten, dass möglichst keine Vermischung von gentechnik freien und gentechnisch veränderten Produkten erfolgt. Erfolgt eine solche trotz der notwendigen Vorkehrungen, so ist diese allenfalls zulässig, allerdings nur insoweit und so lange, als die Vermischung die gentechnikfreie Produktion über kurz oder lang nicht gefährdet. Wo aber die Zulässigkeitsgrenze liegt, ist durch den Verordnungsgeber noch zu konkretisieren. Dieses Konzept liegt auch der Regelung über die Kennzeichnung nach Art. 17 GTG zugrunde.

Verfassung und Völkerrecht

Wie jedes Gesetzesrecht muss auch Art. 7 GTG konform mit dem Verfassungsrecht und dem Völkerrecht ausgelegt werden. Die Bundesverfassung enthält viele Normen, welche die Gentechnologie im Ausserhumanbereich zumindest teilweise betreffen. Für die von Art. 7 GTG geforderte Koexistenz und Wahlfreiheit sind die folgenden Verfassungsartikel massgeblich:

- Art. 120 BV Gentechnologie im Ausserhumanbereich.

Aus wirtschaftlicher Sicht:

- Art. 104 BV Landwirtschaft;
- Art. 97 BV Konsumentenschutz;
- Art. 94 BV Grundsatz der Wirtschaftsfreiheit.

Aus ökologischer Sicht:

- Art. 75 BV Raumplanung;
- Art. 77 BV Schutz des Waldes;
- Art. 78 BV Naturschutz und Biodiversität.

Aus Sicht der Gesundheit:

- Art. 118 BV Gesunde Lebensmittel, Heilmittel und Chemikalien;
- Art. 80 BV Tierschutz.

Ebenso ist die Nachhaltigkeit (Art. 2, 73 und 104 BV) zu beachten, was allerdings vom Gesetzgeber noch zu konkretisieren ist.⁴⁵ Und jede Regulierung muss den Grundrechten, nämlich dem Recht auf Leben, Gesundheit und persönliche Freiheit (Art. 10 BV), der Wissenschaftsfreiheit (Art. 20 BV), der Eigentumsgarantie (Art. 26 BV) und der Wirtschaftsfreiheit (Art. 27 BV), Rechnung tragen.

Der Auftrag des Gesetzgebers

Art. 120 BV will den Menschen und die Umwelt vor Missbräuchen der Gentechnologie schützen. Darunter fällt unter anderem der Schutz des Eigentums und damit auch, dass Produkte ohne gentechnisch veränderte Organismen nicht durch gentechnisch veränderte Organismen ‹beeinträchtigt› werden dürfen. Ebenfalls muss die Gewährung von Schadenersatz den Besonderheiten der Gentechnik – nämlich ihren langfristigen Auswirkungen – Rechnung tragen. Schutzobjekt ist zwar nicht die natürliche oder eine unbeeinflusste Evolution,

aber doch die Möglichkeit der Evolution als Bestandteil der biologischen Vielfalt.

Der **Landwirtschaftsartikel** der Bundesverfassung⁴⁶ ist für die Gentechnik wesentlich, weil er eine sichere, nachhaltige Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln sowie den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen und die Pflege der Kulturlandschaft verlangt. Dazu wird unter anderem ein Mindestumfang an Fruchtfolgeflächen benötigt. Damit ein Kulturwechsel stattfinden kann, braucht es mehrere Kulturpflanzen. Es ist also eine minimale Diversifikation notwendig. Deshalb ist es auf jeden Fall sinnvoll, wenn neben gentechnisch veränderten Pflanzen auch gentechnisch nicht veränderte Pflanzen dauerhaft angepflanzt werden können.

Relevant ist sodann die Grundsatzgesetzgebungskompetenz über die **Raumplanung**.⁴⁷ Diese wird von den Kantonen erstellt und muss unter anderem die **Naturschutzgebiete**⁴⁸ ausweisen. Der Bund kann keine nationalen Raumpläne erlassen, er kann jedoch über Sachpläne Einfluss auf die kantonale Raumplanung nehmen. So gibt es bereits jetzt einen Sachplan über Fruchtfolgeflächen. Genauso könnte der Bund auch einen Sachplan für gentechnikfreie Zonen schaffen.

Der **Konsumentenschutz**⁴⁹ schützt immer die jeweiligen Endverbraucher. So gilt auch der Bauer im Saatgutmarkt als Endverbraucher. Deshalb können sich die Deklarationsvorschriften⁵⁰ sowie die Pflicht zur Information der

Abnehmer⁵¹ nach Gentechnikgesetz auch auf diese Bundeskompetenz stützen.

Der **Grundsatz der Wirtschaftsfreiheit**⁵² ist relevant, weil er festlegt, dass die Wirtschaftsfreiheit nur mit grundsatzkonformen Massnahmen eingeschränkt werden darf. Nicht grundsatzkonform sind Massnahmen, welche die Verzerrung des Wettbewerbes nicht nur bewirken, sondern geradezu bezwecken. Grundsatzwidrige Massnahmen sind nur zulässig, soweit sie eine Grundlage in der Bundesverfassung haben. Im Bereich der Gentechnik im Ausserhumanbereich ist dies lediglich in der Landwirtschaft der Fall.

Schutz der Grundrechte

Teilaspekte diverser Grundrechte sind für die Nutzung der Gentechnik und die Anwendung des GTG relevant. Es ist dabei zu beachten, dass sich in vielen Fällen sowohl die Produzenten von gentechnisch veränderten Organismen als auch die Produzenten von nicht gentechnisch veränderten Organismen auf dieselben Grundrechte berufen können (z. B. Eigentumsgarantie, Wirtschaftsfreiheit). Die persönliche Freiheit schützt alle elementaren Erscheinungen der Persönlichkeitsentfaltung.⁵³ Dazu gehören unter anderem auch die Gesundheits- und Ernährungsbedürfnisse der Bevölkerung. Die Wissenschaftsfreiheit schützt die Forschung mit gentechnisch veränderten Organismen, aber auch die Forschungen über biologischen Landbau. Im Rahmen der Koexistenzordnung kann sie vor allem bei Freisetzungsversuchen

geltend gemacht werden. Ebenfalls relevant ist der Schutz des Eigentums⁵⁴, wenn das sachenrechtliche Eigentum und weitere vermögensrechtliche Rechte wie die obligatorischen Ansprüche von Anbauern oder die Immaterialgüterrechte von Produzenten eingeschränkt werden. Es gibt jedoch auch Normen, welche wie die Eigentumsgarantie auf Verfassungsebene stehen. Solche stellen keine Einschränkungen, sondern Konkretisierungen des Schutzes des Eigentums⁵⁵ dar. Dies trifft zum Beispiel auch für den Gesetzgebungsauftrag zur Gentechnologie zu.⁵⁶

Verteilung der Regelungen auf das Gentechnikgesetz und dazugehörige Verordnungen

Das Bundesverfassungsrecht sieht vor, dass auf Bundesebene wichtige rechtsetzende Bestimmungen in Form eines formellen Bundesgesetzes zu erlassen sind.⁵⁷ Die übrigen Bestimmungen können auch auf Verordnungsebene erlassen beziehungsweise vom Gesetzgeber dem Bundesrat zugewiesen werden. Diese Delegation muss allerdings in den Grundzügen durch ein Bundesgesetz erfolgen und somit durch das

Die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Nutzung der Grünen Gentechnologie in der Schweiz müssen zu einem Teil im Gentechnikgesetz selbst erlassen werden, zum anderen können sie vom Bundesrat auf Verordnungsebene erlassen werden.

Gentechnikgesetz selbst festgelegt werden. Blosser Vollzugsvorschriften, namentlich Konkretisierungen von Gesetzesaufträgen, kann der Bundesrat von sich aus erlassen.⁵⁸ Im Gentechnikrecht könnte er deshalb den unbestimmten Rechtsbegriff «Produktion ohne gentechnisch veränderte Organismen» im Rahmen der Vollzugsverordnung konkretisieren. Für die Bestimmung des Schutzniveaus und der zu dessen Verwirklichung notwendigen Massnahmen ist jedoch ein ausdrücklicher Gesetzesauftrag notwendig. Es ist offensichtlich, dass Art. 7 GTG

den Delegationsgrundsätzen der Bundesverfassung heute noch nicht genügt. Wenn sich beispielsweise Nachbarn eines Produzenten von GVP wegen bestimmter Pflichten, die nur durch eine Verordnung festgelegt sind, in ihren Grundrechten verletzt sehen, so würde heute das Bundesgericht feststellen, dass für die Festlegung solcher Pflichten im Gentechnikgesetz keine Ermächtigung vorliegt.⁵⁹ Ähnliches gilt für Beschränkungen der Wirtschaftsfreiheit und der Eigentumsfreiheit durch die behördliche Festlegung von gentechnikfreien Gebieten oder für Verwaltungsstrafen und andere Sanktionen, die im Gesetz vorgesehen werden müssen. Mit anderen Worten: Eine blosse Verordnung zur Regelung der Koexistenz ist nicht rechtsbeständig und nicht durchsetzbar.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Schweizer Bundesverfassung will insgesamt ein geordnetes, gleichberechtigtes Nebeneinander der unterschiedlichen Pflanzen- und Tierproduktionen. Daraus folgt:

1. Die Schweiz muss ihr Gentechnikrecht europakompatibel gestalten, wie dies auch in Art. 16 Abs. 6 GTG gefordert wird.
2. Die verfassungsrechtliche Verteilung der Regelungsbefugnisse auf den Gesetzes- und den Ordnungsgeber muss eingehalten werden, insbesondere auch zum Schutz der Grundrechte der verschiedenen Produzenten und Konsumenten.

ENDNOTEN

- 1 Die Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates, ABIEG L 106/1 vom 17. April 2001.
- 2 Verordnung (EG) Nr. 1829/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über genetisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel, ABIEG L 268/1 vom 18. Oktober 2003; Verordnung (EG) Nr. 1830/2003 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 22. September 2003 über die Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung von gentechnisch veränderten Organismen und über die Rückverfolgbarkeit von aus gentechnisch veränderten Organismen hergestellten Lebensmitteln und Futtermitteln etc., ABIEG L 268/24 vom 18. Oktober 2003, sowie Verordnung Nr. 834/2007 des Rates vom 28.6.2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, ABL L 189/1 vom 20. Juli 2007.
- 3 Empfehlung der Kommission vom 23. Juli 2003 mit Leitlinien für die Erarbeitung einzelstaatlicher Strategien und geeigneter Verfahren für die Koexistenz gentechnisch veränderter, konventioneller und ökologischer Kulturen (2003/556/EG).
- 4 Richtlinie 92/43/EWG, ABIEG L 206/7 vom 22. Juli 1992, und Richtlinie 79/409/EWG, ABIEG L 103/1 vom 25. April 1979.
- 5 Empfehlung der Kommission vom 13. Juli 2010 mit Leitlinien für die Entwicklung nationaler Koexistenz-Maßnahmen zur Vermeidung des unbeabsichtigten Vorhandenseins von GVO in konventionellen und ökologischen Kulturpflanzen (2010/C200/01).
- 6 Legislative Entschliessung des Europäischen Parlaments vom 5. Juli 2011 zu dem Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2001/18/EG betreffend die den Mitgliedstaaten eingeräumte Möglichkeit, den Anbau von GVO auf ihrem Hoheitsgebiet zu beschränken oder zu untersagen (KOM(2010)0375 – C7-0178/2010 – 2010/0208(COD)).
- 7 Art. 34 Konsolidierte Fassung des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV), ABIEU C 115/47 vom 9. Mai 2008.
- 8 GVO: Mitgliedstaaten sollen Anbau einschränken oder verbieten dürfen. Pressemitteilung des Europäischen Parlaments vom 5. Juli 2011.
- 9 Gesetz über die Regelung von Maßnahmen der Gentechnik-Vorsorge (Kärntner Gentechnik-Vorsorgegesetz – K-GtVG; LGBl. Nr. 5/2005, zuletzt geändert durch LGBl. Nr. 77/2005).
- 10 § 3 Abs. 1 K-GtVG.
- 11 § 6 Bst. a K-GtVG.
- 12 § 12 K-GtVG.
- 13 Verordnung (EG) Nr. 1829/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über genetisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel. ABIEG ABL L 268/1 vom 18. Oktober 2003, welche mit Art. 43 die Richtlinie 2001/18/EG abänderte.
- 14 Landwirtschaftsgesetz Nr. 441/2005.
- 15 Verordnung Nr. 89/2006.
- 16 Gesetz Nr. 78/2004.
- 17 Erlass vom 5. Dezember 2007 über die vorübergehende Einstellung der Übertragung und des Gebrauchs der Maissorte MON810, JORF n°0283 du 6 décembre 2007 page 19748 texte n° 22. Dazu nun Urteil des EU-Gerichtshofes vom 8. September 2011 in der verbundenen Rs. C-58/10 bis C-68/10.
- 18 Art. L. 663-2.
- 19 Arrêté du [] relatif aux conditions techniques de mise en culture, de récolte, de stockage et de transport des végétaux génétiquement modifiés (http://ddata.over-blog.com/xxxyyy/1/39/38/37/minagri_arrete_coexistence_janvier2012.pdf)
- 20 Art. L. 335-1 Code de l'environnement.
- 21 Art. L. 663-1 Code rural.
- 22 Art. L. 663-4 Abs. 3 Code rural.
- 23 Act No. 436 of 9 June 2004, Executive Order on Compensation for Losses due to Certain Occurrences of Genetically Modified Material.

- 24 No. 1170 of 7 December 2005, Order on the cultivation etc. of genetically modified crops; No. 220 of 31 March 2005, Order on the cultivation etc. of genetically modified crops.
- 25 Gentechnikgesetz (GenTG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2066).
- 26 Verordnung über die gute fachliche Praxis bei der Erzeugung gentechnisch veränderter Pflanzen (Gentechnik-Pflanzenerzeugungsverordnung – GenTPflEV) vom 7. April 2008 (BGBl. I S. 655).
- 27 §§ 8 und 9 GenTPflEV.
- 28 § 906 Abs. 2.
- 29 Legge 28 gennaio 2005, n. 5, mit Änderungen in das Decreto-Legge 22 novembre 2004, n. 279.
- 30 Sentenza 116/2006 della Corte Costituzionale del 17 Marzo 2006.
- 31 Landesgesetz über GVO in der Landwirtschaft vom 16. November 2006, Nr. 13.
- 32 Decreto 93/2009, de 21 de abril, por el que se regula la coexistencia de los cultivos modificados genéticamente con los convencionales y ecológicos.
- 33 Decreto Lei n.º 160/2005.
- 34 Abkommen vom 15. April 1994 zur Errichtung der Welthandelsorganisation, SR 0.632.20, Anhang 1A.1 Allgemeines Zoll- und Handelsabkommen 1994 (GATT).
- 35 Anhang 1A.4 Übereinkommen über die Anwendung gesundheitspolizeilicher und pflanzenschutzrechtlicher Massnahmen (SPS).
- 36 Anhang 1A.6 Übereinkommen über technische Handelshemmnisse (TBT).
- 37 Bundesgesetz vom 6. Oktober 1995 über die technischen Handelshemmnisse (THG), SR 946.51, insb. Art. 16a.
- 38 SR 814.91.
- 39 Z.B. Art. 17 Abs. 5 u. 6 GTG.
- 40 Art. 5 Abs. 2 GTG. Dazu gehören auch cisgene Pflanzen, vgl. Anhang 1 der Verordnung über den Umgang mit Organismen in der Umwelt (Freisetzungsverordnung, FrSV) vom 10. September 2008 (SR 814.911).
- 41 Art. 6 GTG.
- 42 Art. 7 GTG.
- 43 Art. 8 GTG.
- 44 Art. 2 GTG.
- 45 Art. 103 BV (Strukturpolitik) bietet keine Grundlage, da dieser die ökonomische Stärkung und nicht die Vielfalt eines Wirtschaftszweiges bezweckt.
- 46 Art. 104 BV.
- 47 Art. 75 BV.
- 48 Art. 78 BV.
- 49 Art. 97 BV.
- 50 Art. 17 GTG.
- 51 Art. 15 GTG.
- 52 Art. 94 BV.
- 53 Art. 10 Abs. 2 BV.
- 54 Art. 26 BV.
- 55 Art. 26 BV.
- 56 Art. 120 BV.
- 57 Art. 164 Abs. 1 BV; dazu gehören unter anderem die Einschränkungen von Grundrechten und von weiteren verfassungsmässigen Rechten, die Rechte und Pflichten von Personen, der Kreis der Abgabepflichtigen sowie der Gegenstand und die Bemessung von Abgaben, die Aufgaben und die Leistungen des Bundes, die Verpflichtungen der Kantone bei der Umsetzung und beim Vollzug des Bundesrechts und die Organisation und das Verfahren der Bundesbehörden.
- 58 Art. 182 Abs. 2 BV.
- 59 Zur bundesgerichtlichen Praxis zur Gesetzesdelegation siehe BGE 128 I 113 S. 122.

LITERATUR

- [1] Kohler, S. (2011) Koexistenzregelungen der Schweiz. Übersicht des internationalen und europäischen Rahmens, in: Dahinden, M., Kohler, S., Suter, C. (Hrsg.), Koexistenz und Forschungsfreiheit als Nagelprobe für die Grüne Gentechnologie, Zürich, 29-37.
- [2] Böckenförde, M. (2003) Grüne Gentechnik und Welthandel. Das Biosafety-Protokoll und seine Auswirkungen auf das Regime der WTO, Berlin/Heidelberg/New York 2004, 391ff.
- [3] Loosen, K. (2005) Das Biosafety-Protokoll von Cartagena zwischen Umweltvölkerrecht und Welthandelsrecht, Diss. Düsseldorf, Berlin, 124.
- [4] Epiney, A., Waldmann, B., Oeschger, M., Heuck, J. (2011) Die Ausscheidung von gentechnikfreien Gebieten in der Schweiz de lege lata et de lege ferenda, Zürich/St. Gallen, N 21.
- [5] Kerschner, F., Wagner, E. (2003) Koexistenz zwischen Gentechnik, Landwirtschaft und Natur – Rechtliche Rahmenbedingungen, Wien, 97.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

Biogene Pflanzen: gentechnisch veränderte Pflanzen für die biologische Landwirtschaft

Eine neue Generation von gentechnisch veränderten Pflanzen ist in Entwicklung. Bei detaillierter Betrachtung haben sie ein Potenzial für eine nachhaltige Landwirtschaft, sodass «Bio» und «gentechnisch verändert» künftig kein Widerspruch mehr sein muss.

Die Methoden der Gentechnik haben in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht, sodass wir heute in der Lage sind, gentechnisch veränderte Pflanzen (GVP) wesentlich anders herzustellen, als dies bisher der Fall war. Im Folgenden schlage ich Verfahren zur Herstellung genveränderter Pflanzen vor, die mit den Grundsätzen der biologischen Landwirtschaft kompatibel sind. Um sie von den bisherigen GVP zu unterscheiden, bezeichne ich sie im Folgenden als «biogene Pflanzen». Da diese Pflanzen auf den neuesten Techniken der Genveränderungen in Pflanzen beruhen (Einzelheiten dazu in Kapitel 4.3), sind die wesentlichen Bedenken gegen den Einsatz der Gentechnik nicht mehr gerechtfertigt. Insbesondere enthalten biogene Pflanzen weder Antibiotikanoch Herbizidresistenzgene, welche den Einsatz von Chemikalien in der Landwirtschaft bedingen. Sie zeichnen sich ausserdem dadurch aus, dass eine Auskreuzung transgener Eigenschaften mit Kulturpflanzen oder den entsprechenden Wildformen ausgeschlossen ist.

Biogene Pflanzen werden mit vier unterschiedlichen Methoden der Genmanipulation hergestellt:

- **Gezielte Mutagenese:** Hierbei wird durch Einsatz einer spezifischen Nuklease eine bestimmte DNS-Sequenz mutiert. Diese Veränderung ist mit der Entstehung von Punktmutationen durch spontane Vorgänge oder durch mutagene Agenzien vergleichbar. Sie erfolgt aber an einer vom Experimentator ausgewählten Stelle im Genom, die durch die Spezifität der eingesetzten Nuklease bestimmt ist. Diese biogenen Pflanzen sind im engeren Sinn keine gentechnisch veränderte Organismen (GVO), da sie kein Fremdgen enthalten.
- **Cisgenese:** Bei dieser Genveränderung werden Gene aus Arten eingeführt, von denen natürlicherweise ein Genaustausch zu der Zielpflanze

Gerhart U. Ryffel

Professor emeritus, Institut für Zellbiologie
Universität Duisburg-Essen (Deutschland)

möglich ist. Hierbei wird ein Gen mitsamt seinen Kontrollsequenzen (Promotor und Terminator) an einer vordefinierten Stelle im Genom integriert, wobei die ursprüngliche Struktur des Gens mit den benachbarten regulatorischen Genabschnitten unverändert bleibt. Diese Art der Genveränderung ist vergleichbar mit dem Einfügen eines Gens durch ein natürliches Transposon, einem Prozess, der bei Pflanzen in der Natur sehr häufig vorkommt, aber zu einer Integration des Gens an einem nicht vorausbestimmbaren Ort führt.

Da das durch Cisgenese eingeführte Gen aus einer Pflanze stammt, die mit dem Empfänger normalerweise sowieso Gene austauscht, könnte dieser künstliche Gentransfer also auch in der Natur vorkommen. Im Unterschied zum natürlichen Prozess sind aber der integrierte Genabschnitt und der Integrationsort durch den Experimentator genau festgelegt.

- **Intragenese:** Dieses Verfahren ist der Cisgenese ähnlich, da nur Gensequenzen übertragen werden, die aus Pflanzen stammen, die natürlicherweise Gene austauschen. Aber im Gegensatz zur Cisgenese wird bei der Intragenese ein Genkonstrukt eingeführt, das es in der Ursprungspflanze nicht gibt. Es enthält Elemente verschiedener Gene, die künstlich zusammengefügt wurden: So können zum Beispiel der Promotor, das Gen (proteincodierender Teil) und der Terminator aus drei unterschiedlichen Genen stammen. Im Prinzip können solche intragenen Pflanzen auch auf natürliche Weise entstehen, aber dass die verschiedenen Elemente sich gerade so zusammenfinden, ist doch äusserst unwahrscheinlich.
- **Transgenese in sterilen Pflanzen:** Bei dieser Technik handelt es sich um die Einführung von Genen aus Arten, mit denen normalerweise kein

Genaustausch erfolgt. Das eingebrachte Gen wird als Transgen bezeichnet. Die transgenen Pflanzen enthalten damit artfremde Gene und stellen daher Kombinationen dar, die in der Natur nicht entstehen.

Werden für die Transgenese nur sterile Pflanzen verwendet, also solche, die weder befruchtbar sind noch selbst funktionstüchtige Pollen bilden, kann eine Weiterverbreitung des Transgens auf andere Pflanzen verhindert werden. Diese neuen transgenen Pflanzen enthalten – im Unterschied zu älteren – auch keine Resistenzgene gegen Antibiotika, da das Transgen wie bei der Intragenese ohne dieses Selektionsgen eingebracht wird.

Die Sterilität der transgenen biogenen Pflanzen kann auf verschiedene Art und Weise künstlich erzeugt werden: Bei Pflanzen, die sich vegetativ vermehren und deren Samen keinen landwirtschaftlichen Nutzen haben (zum Beispiel Kartoffel), sorgt das Entfernen von Genen, die für die Samen- und Pollenbildung essenziell sind, für eine irreversible Sterilität. Bei Pflanzen, bei denen der Samen für die landwirtschaftliche Nutzung wichtig ist (zum Beispiel Mais), verändert man die Pflanze so, dass die Samenbildung ohne Befruchtung (asexuell) erfolgt. Diese Art der asexuellen Vermehrung wird Apomixis genannt. Man findet sie zwar natürlicherweise bei einigen hundert Pflanzenarten (zum Beispiel Habichtskraut und Löwenzahn), aber bei Pflanzen, die für die Landwirtschaft wichtig sind, müssen diese apomiktischen Eigenschaften künstlich herbeigeführt werden. Um die Befruchtung anderer Pflanzen mit Pollen der transgenen apomiktischen Pflanzen zu verhindern, wird zudem

Biogene Pflanzen stehen mit den Prinzipien der biologischen Landwirtschaft im Einklang.

ein Gen, das für die Pollenbildung essenziell ist, zerstört. Diese apomiktischen sterilen transgenen Pflanzen bilden somit keimfähige Samen und können sich über Generationen vegetativ weitervermehren, sind aber nicht in der Lage, das Transgen an Kulturpflanzen oder Wildpflanzen, mit denen normalerweise ein Genaustausch erfolgen kann, weiterzugeben. Damit ist das unkontrollierbare Entweichen des Transgens in die Biosphäre ausgeschlossen.

Die Techniken der gezielten Mutagenese sowie der Cis- und Intragenese sind heute weitgehend etabliert, sodass sie unmittelbar eingesetzt werden können. Die Transgenese in sterile apomiktische Pflanzen ist dagegen zurzeit noch nicht Routine. Es braucht noch wesentliche Grundlagenforschung, um entsprechend veränderte Pflanzen zu entwickeln.

Verträglichkeit mit biologischer Landwirtschaft

Eine genauere Analyse dieser biogenen Pflanzen in Bezug auf ihre Kompatibilität mit den Prinzipien der biologischen Landwirtschaft zeigt Folgendes:

- **Gesundheitsverträglichkeit:** Cis- und intragene Pflanzen enthalten nur Produkte, die normalerweise in dieser Pflanzenart vorkommen können. Bei transgenen sterilen Pflanzen entstehen neue Produkte, deren Gesundheitsverträglichkeit rigoros getestet werden muss. Das Risiko bei diesen transgenen Pflanzen ist vergleichbar mit dem der Einführung einer neuen Pflanze als Nahrungsmittel, die bisher nicht von Menschen konsumiert wurde.
- **Vermischung:** Die biogenen Pflanzen lösen auch das Problem der Kontamination des Honigs mit fremden Genen: Cis- und intragene Pflanzen enthalten Gene, die normalerweise in der betreffenden Art ausgetauscht werden können. Die sterilen transgenen Pflanzen sind als Kontaminationsquelle ausgeschlossen, da sie keine Pollen bilden können. Es ist somit eine Nulltoleranz möglich.
- **Umweltbelastung:** Da biogene Pflanzen keine Herbizidresistenz enthalten, ist eine Belastung der Umwelt, aber auch des Bauern durch Herbizide nicht gegeben. Weil natürliche Resistenzgene gegen Pflanzenkrankheiten (zum Beispiel Kartoffelkrautfäule) in die Pflanzen eingebaut werden, kann man sogar auf die im biologischen Landbau verwendeten Zusatzmittel (zum Beispiel Kupfer) verzichten – was unter Umständen sogar eine bessere Ökobilanz ergibt.
- **Artenvielfalt:** Der Einsatz biogener Pflanzen beeinflusst die Artenvielfalt nicht mehr, als dies bei biologischer Schädlingsbekämpfung der Fall ist. Im Einzelnen kann sogar eine positivere Bilanz erzielt werden: Zum Beispiel, wenn ein Resistenzgen nur in der biogenen Pflanze vorkommt und so das Besprühen mit Bt-Toxin entfällt, welches auch Insekten auf benachbarten Pflanzen töten kann.
- **Düngereinsatz:** Der Einsatz biogener Pflanzen erfordert keine Kunstdünger und ist somit mit einer nachhaltigen Landwirtschaft kompatibel.
- **Auskreuzung:** Wenn cis- und intragene Kulturpflanzen auf andere Kulturformen oder die entsprechenden Wildformen auskreuzen, handelt es sich um einen Genaustausch innerhalb der natürlichen Grenzen. Die Transgene der biogenen Pflanzen können nicht auf andere Pflanzen übertragen werden, da sie ja steril sind. Somit ist ein unkontrollierbares Ausbreiten von Transgenen in verwandte Arten ausge-

geschlossen. Was wiederum bedeutet, dass eine Koexistenz biogener Pflanzen mit nicht genveränderten Pflanzen möglich ist.

- **Monopole:** Es ist denkbar, dass biogene Pflanzen ohne Transgene einer weniger strengen Kontrolle unterliegen müssen, da ihr Risikopotenzial geringer ist. Dies würde zu einem wesentlich vereinfachten Bewilligungsverfahren führen, sodass eine regionale Herstellung und

Vermarktung eher möglich und die Dominanz multinationaler Konzerne eingeschränkt wäre.

Aufgrund dieser Eigenschaften stehen biogene Pflanzen mit den Prinzipien der biologischen Landwirtschaft im Einklang. Dies heisst, dass der Slogan «Bio ist frei von Gentechnik» im Zusammenhang mit biogenen Pflanzen kaum aufrechterhalten werden muss.

Beispiele biogener Pflanzen, die in Entwicklung sind und für den biologischen Landbau in der Schweiz Bedeutung haben könnten

Biogene Kartoffel für die Herstellung von Klebstoff	Durch gezielte Mutagenese wird das GBSS-Gen der Kartoffel inaktiviert, so dass die Kartoffel keine Amylose mehr produziert, die in der Klebstoffherstellung unerwünscht ist. Diese biogene Kartoffel würde somit im Gegensatz zu der in der EU zugelassenen Amflora weder ein Antibiotikagen noch eine andere fremde DNS enthalten. ^[1]
Biogene Kartoffel mit Resistenz gegen die Kraut- und Knollenfäule	Durch Cis-oder Intragenese wird die Resistenz gegen die Kraut- und Knollenfäule aus einer wilden mexikanischen Kartoffelart eingeführt. Da der Erreger (<i>Phytophthora infestans</i>) sehr anpassungsfähig ist, werden zwei unterschiedliche Resistenzgene eingebracht, um das Durchbrechen der Resistenz zu erschweren. Da die verwendete Wildkartoffel mit der kultivierten Kartoffel kreuzbar ist, werden keine Artgrenzen durchbrochen. Im Unterschied zu Fortuna, der gentechnisch veränderten Kartoffel, die von BASF in den kommenden Jahren vermarktet werden soll, enthält die durch biogene Technik hergestellte Kartoffel kein artfremdes Selektionsgen. ^[2]
Biogener Mais mit Resistenz gegen den Maiszünsler	Durch Transgenese wird das Insektentoxin Bt aus dem Bodenbakterium <i>Bacillus thuringiensis</i> eingeführt. Da durch das Einführen eines bakteriellen Gens Artgrenzen überschritten werden, werden apomiktische, sterile Maispflanzen eingesetzt, um ein Auskreuzen mit normalem Mais zu verhindern. Dieser biogene Mais unterscheidet sich somit vom Bt-Mais von Monsanto, der zurzeit in der EU zum Anbau zugelassen ist. ^[3]

LITERATUR

- [1] Ryffel, G. U. (2010) Making the most of GM potatoes. Nat Biotechnol 28, 318.
- [2] Storck, T., Böhme, T., Schultheiss, H. (2011) Fortuna et al. Status and perspectives of GM approaches to fight late blight. Paper presented at the EuroBlight Workshop, 9-12 Oct. 2011, Saint Petersburg, Russia. www.euroblight.net
- [3] Ryffel, G. U. (2011) Dismay with GM maize. A science-based solution to public resistance against genetically modified crops that could be compatible with organic farming. EMBO Rep 12: 996-999.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

Der Prüfstein für die Gentechnologie ist die Nachhaltigkeit

Die Ablehnung der Gentechnologie durch die Biobauern beruht auf dem Prinzip der Vorsorge. Jedoch müssen moderne Technologien und ökologisch sinnvolle Landwirtschaft nicht von vornherein ein Widerspruch sein. Entscheidend ist die Nachhaltigkeit.

Die Schweizer Regierung machte in der Landwirtschaftspolitik zwei entscheidende Schritte, als sie 1992 die Förderung der Bauern von den Produktionsmengen entkoppelte und 1998 an ökologische Mindestleistungen band. Dies bedeutete eine grundlegende Richtungsänderung, die von Organisationen des Umwelt-, Tier- und Konsumentenschutzes sowie von Biobauern unterstützt wurde. Diese Kreise brachten sich dann auch bei der Ausgestaltung der Direktzahlungen im Parlament und durch die Volksinitiative «Bauern und Konsumenten – für eine naturnahe Landwirtschaft» konstruktiv ein.

In der Folge konnten sich umweltfreundlichere Anbaumethoden wie der Biolandbau und die gesamtbetriebliche IP Suisse entwickeln. Die Landwirte begannen unproduktive Landschaftselemente wie Hecken, Hochstammbäume und Blühstreifen wieder zu schätzen und der Trend zur Industrialisierung in der Landnutzung sowie in der Tierhaltung konnte zumindest gebremst werden. Auch die wachsende Nachfrage der Konsumenten nach naturnahen Lebensmitteln verstärkte diesen Trend. Heute, 20 Jahre später, gehört fast die Hälfte aller Schweizer Landwirtschaftsbetriebe einer der beiden Anbauorganisationen an.

Hingegen tut sich die EU noch immer schwer, die Direktzahlungen an die Landwirte an «grüne» Leistungen zu binden, welche der Allgemeinheit dienen. Und auf internationaler Ebene scheitern alle Bemühungen einer echten Ökologisierung der Landwirtschaft. Zu viel Ökologie in der Landwirtschaft schadet dem kurzfristigen Geschäft – meint ein Teil der Agroindustrie. Selbst die Schweiz ist mit ihrer Landwirtschaftspolitik im Dilemma. Denn einen Teil der Umweltbelastungen exportiert sie einfach, indem sie Getreide und Eiweissfrüchte fürs Vieh im Ausland anbauen lässt.

Urs Niggli

Direktor des Forschungsinstituts für Biologischen Landbau (FiBL)

Frick

Das bedeutet, dass trotz aller gegenteiligen Absichtserklärungen unsere Ernährungsweise und die globale Landwirtschaft nicht nachhaltig sind.

Der 2005 von 400 Wissenschaftlern veröffentlichte Bericht zum Zustand der Ökosysteme zeigt, dass 60 Prozent der für die Menschheit überlebenswichtigen Leistungen der Ökosysteme zerstört sind.^[1] Jedes Jahr verschwinden – gemäss Schätzungen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) beziehungsweise des Erosionsspezialisten David Pimentel von der Cornell Universität – 5 bis 10 Millionen Hektaren Landwirtschaftsland aus der Produktion.^[2] Auch die Schweiz ist an dieser Bodendegradierung beteiligt, indem sie Futtermittel importiert.

In dieser Situation ist «Business as usual» keine Handlungsoption, wie unter anderem der von 200 Fachleuten im Jahr 2008 publizierte Bericht des Weltagrarrates (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development IAASTD) klar macht und gleichzeitig einen radikalen Kurswechsel in der Agrarforschung und der landwirtschaftlichen Beratung fordert.^[3] Doch diese grosse Herausforderung der Menschheit erfordert äusserst komplexe Massnahmen, darin sind sich die Fachleute einig. Einzelne Technologien – wie zum Beispiel die Züchtung mit Gentechnik – werden nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Der Begriff «Nachhaltigkeit» wurde bereits im 18. Jahrhundert für die Forstwirtschaft geprägt und er beinhaltet ursprünglich die «absolute Regenerationsfähigkeit» der Ressource Wald. In der Landwirtschaft findet das Konzept der nachhaltigen

Bewirtschaftung seit dem Bericht der ehemaligen norwegischen Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland aus dem Jahr 1987 starke Beachtung, weil man sich bereits in den 1970er-Jahren der Endlichkeit natürlicher Ressourcen wie Boden, Biodiversität und Wasser bewusst wurde. Doch leider hat

man es bisher versäumt, die Regenerationsfähigkeit der natürlichen Ressourcen in der Landwirtschaft so konsequent umzusetzen, wie dies im Wald selbstverständlich ist. So nehmen die Verarmung der Landschaft, der Rückgang der biologischen Vielfalt sowie die Erosion

und Versiegelung landwirtschaftlicher Böden ungehemmt ihren Fortgang. Und es entstehen daraus Folgekosten für die Gesellschaft, die von Umweltökonominnen immer präziser berechnet werden.^[4]

Schuld der Gentechnik?

Es ist diese beunruhigende Entwicklung, die bei kritischen Bürgern und Konsumentinnen die Skepsis gegenüber der Gentechnik speist. Denn diese ist zum Symbol einer Landwirtschaft geworden, welche nicht umdenken will oder kann.

Jedoch mag die pauschale Einschätzung, dass Gentechnik sich nicht mit einer nachhaltigen Landwirtschaft verträgt, verkürzt sein. So hat etwa die Vereinfachung der Fruchtfolgen und die Dominanz weniger, meist nicht bodenschonender Kulturen wie Soja, Mais und Raps wenig mit der Tatsache zu tun, dass diese gentechnisch verändert wurden. Vielmehr ist es die riesige Nachfrage nach kostengünstigen Futtermitteln für eine Tierproduktion,

welche Fleisch und Eier immer billiger und in größeren Mengen anbieten muss. Und es ist auch der Energiehunger unserer Gesellschaft, welcher Monokulturen von Mais, Zuckerrohr und Raps zur Produktion von Treibstoff fördert.

Auch das Verschwinden von Tausenden von kleinen und mittleren Pflanzenzüchtern und Saatgut anbietern hat wenig mit der Gentechnik zu tun, sondern mit einem wirtschaftlichen Verdrängungsprozess unter den Firmen, der dazu führt, dass heute mehr als die Hälfte des proprietären Saatgutes von den vier wettbewerbsfähigsten Unternehmen stammt.^[5] Will man diese Entwicklung nicht, so nützt ein Verbot der Gentechnik wenig. Denn aus volkswirtschaftlicher Sicht handelt es sich überwiegend um klassische Phänomene des Marktversagens, welche wettbewerbspolitisch korrigiert werden müssten.

Vielfalt als Schlüsselfaktor

Eines der Schlüsselemente für eine nachhaltige Entwicklung der Landwirtschaft ist die Vielfalt. Diese fängt bei der landschaftlichen Kleinstrukturiertheit an, geht über die Vielfalt der betrieblichen Aktivitäten der Bauernfamilien bis hin zur Artenvielfalt auf Feldern und in Böden. Auch die genetische Vielfalt der Pflanzen und der Tiere, welche die Landwirte nutzen, ist wichtig. Aber diese wird nicht durch grosse Monopolisten in der Tier- und Pflanzenzüchtung geschaffen, sondern durch unzählige kleine und mittlere Züchter und Vermehrer. Vielfalt löst auch andere ökologische Probleme: zum Beispiel die Bodenerosion, indem

sich unterschiedlichste Pflanzen mit unterschiedlich tiefer Durchwurzelung und Bedeckung des Bodens abwechseln.

Hier setzt der Biolandbau an. Er legt Wert auf Vielfalt auf den Bauernhöfen und in der Landschaft. Dabei nehmen Biobauern bewusst tiefere Erträge in Kauf, setzen aber auf ein optimales Verhältnis zwischen eingesetzten Ressourcen und erzieltm Ertrag.^[6]

Und die Biobauern reduzieren bewusst den Einsatz der wichtigsten landwirtschaftlichen Produktionsfaktoren wie Erdöl, Phosphor und Wasser, weil diese in weniger als einer Generation knapp und sehr teuer sein werden. Potenziell umweltbelastende Produktionsfaktoren wie zugekaufte Dünger oder Pestizide werden auf ein minimales Mass reduziert. Das Konzept der Suffizienz, nach dem endliche Ressourcen nur sparsam genutzt werden dürfen, ist für eine nachhaltige Landwirtschaft ganz wichtig.

Zweifellos sind die Biobauern volkswirtschaftlich auf dem richtigen Weg. Sie stellen als Gegenleistung für die öffentliche Förderung konsequent öffentliche Güter bereit: beispielsweise positive Effekte für die Umwelt oder Tierschutz. Als zusätzlicher Anreiz dient ihnen die Bereitschaft der Konsumenten, für umweltfreundliche Produkte höhere Preise zu bezahlen.

Technik ist kein Widerspruch zu Ökologie

Biolandbau nutzt den technischen Fortschritt, aber nicht unkritisch. Die generellen Bedenken der Biobauern gegenüber gewissen neuen Technologien basieren ausschliesslich auf dem Vorsorgeprinzip. Und sie spiegeln die Erfahrung wider, dass oft

**Eines der Schlüsselemente
für eine nachhaltige Entwicklung
der Landwirtschaft ist die Vielfalt.**

nachhaltige Strukturen und Praktiken wegen neuer Technologien geopfert wurden. Tatsächlich haben die ungebremsen Kräfte des Marktes in den letzten 100 Jahren zu mehr industrieller Eintönigkeit geführt: grössere Maschinen, grössere Felder, stark spezialisierte Betriebe, Ausräumung der Landschaft oder starke Einengung bei der Nutzpflanzen- und Nutztiervielfalt. Eine Uniformität, die für die Ökologie eine Katastrophe ist.

Jedoch sehe ich die Möglichkeit, dass es heute dank agrarwissenschaftlicher und agrartechnischer Innovationen, cleverer Nutzung modernster Technologien und der Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen gelingen könnte, vereinfachte landwirtschaftliche Systeme wieder in komplexe zu überführen. Ich denke zum Beispiel an die Möglichkeit, mit kamera- und satellitengesteuerten bodenschonenden Kleinstgeräten, welche auf Datenbanken und miniaturisierte Diagnoseinstrumente zugreifen können, kleinräumige Abfolgen von Pflanzen und Mischkulturen rationell anzubauen, zu pflegen und zu ernten. Ähnliche Beispiele gäbe es wahrscheinlich auch für eine sinnvolle Nutzung gewisser Anwendungen aus der Gentechnik und aus der Nanotechnologie. Auf der Basis solcher Möglichkeiten wären dann grundsätzliche Technologieverbote, wie es zum Beispiel das Verbot der Gentechnologie ist, durch eine produktspezifische kritische Kosten-Nutzen-Analyse abzulösen.

Aber es braucht ein klares Bekenntnis zu einer vielfältigen, ökologischen Landwirtschaft, in der viele Akteure auch in der vor- und nachgelagerten Kette tätig sind, um die Skepsis gegenüber der Gentechnik aufzulösen.

Die Nachhaltigkeit ist das Nadelöhr, durch welches die Gentechnologie gehen muss, um Akzeptanz zu finden.

LITERATUR

- [1] Millennium Ecosystem Assessment: www.maweb.org
- [2] Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L. Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R. (1995) Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science* 267, 1117-1123.
- [3] Bericht des Weltagrarates (2008) International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development IAASTD: www.agassessment.org
- [4] TEEB (2010) The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB: www.teebweb.org
- [5] ETC (2008) Who Owns Nature? Corporate Power and the Final Frontier in the Commodification of Life: ETC Group (Action Group on Erosion, Technology and Concentration). Ottawa, CA, USA.
- [6] Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U. (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

3. Gesundheit und Gesellschaft



3.1 Gesundheitliche Aspekte gentechnisch veränderter Pflanzen mit Relevanz für die Schweiz

Die Diskussion um die Frage, ob gentechnisch veränderte Pflanzen (GVP) ein Gesundheitsrisiko im Allgemeinen und für den menschlichen Organismus im Speziellen darstellen, ist seit Beginn der Freisetzung und Kommerzialisierung von GVP ein heftig diskutiertes Thema. Wenngleich die theoretischen Möglichkeiten einer Gesundheitsgefährdung durch GVP bestehen, konnte eine solche bisher nicht nachgewiesen werden.

KAROLINE DORSCH-HÄSLER

KARIN HOFFMANN-SOMMERGRUBER

Dieses Kapitel basiert auf einer umfangreichen Literaturstudie, die im Rahmen des NFP 59 durchgeführt und als *Literaturstudie Gesundheit* publiziert wurde.

NEUE GENERATIONEN GENTECHNISCH VERÄNDERTER PFLANZEN

Die gentechnisch veränderten Pflanzen der ersten Generation wurden entwickelt, um mit ihrer genetischen Modifikation Herbizidresistenz und Resistenzen gegenüber Krankheits- und Schädlingsbefall zu vermitteln. Hingegen werden GVP der zweiten Generation hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe verändert. Hier soll entweder Nährwert verbessert (z. B. höherer Anteil an ungesättigten Fettsäuren oder Vitaminen) oder es sollen unerwünschte Inhaltsstoffe (z. B. Allergene, Pflanzentoxine) entfernt werden. Die GVP der dritten Generation hingegen werden als Produzenten von pharmazeutischen Stoffen und von industriell verwendeten (nachwachsenden) Rohstoffen eingesetzt.

Während es für die GVP der ersten Generation nur eine begrenzte Anzahl von eingesetzten Fremdgenen gibt und deren Konstrukte vergleichsweise schon lange bekannt sind, sind Vielfalt und Anzahl der neuen Konstrukte für die zweite und dritte Generation in der jüngeren Vergangenheit erheblich gestiegen. Daher ist die Datenlage zur Untersuchung möglicher Gesundheitsrisiken der ersten Generation GVP auch sehr umfangreich, jene der Untersuchungen gesundheitlicher Aspekte der zweiten und dritten Generation hingegen deutlich geringer. In die heute kommerziell eingesetzten GVP der ersten Generation wurden Gene bakteriellen, viralen oder pflanzlichen Ursprungs

eingeführt, welche die Resistenz gegenüber Herbiziden, Schädlingsbefall oder Viruserkrankungen erhöhen. In den letzten 20 Jahren wurde parallel zur Entwicklung dieser GVP auch die Entwicklung der nationalen und internationalen Sicherheitsbewertung inklusive möglicher toxischer Risiken für Mensch und Tier entwickelt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bis heute keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier nachgewiesen werden konnten. Hingegen sind einige positive Effekte belegt.

Herbizidtoleranz

Der Einsatz der herbizidtoleranten GVP ermöglicht in einem integrierten System ein reduziertes und gezieltes Anwenden von Spritzmitteln und damit eine potenziell geringere Umweltbelastung als beim konventionellen Anbau (siehe Kapitel 1.1). Tatsächlich ging als Folge der reduzierten Pestizidanwendung bei den Bauern in Indien und China die Zahl der Pestizidvergiftungen zurück.^[2]

Schädlingsresistenz

Für eine erhöhte Resistenz gegenüber Schädlingen wird meist ein Gen eingesetzt, das aus dem Bakterium *Bacillus thuringiensis* stammt und für ein Protein

Der Aspekt Gesundheit im NFP 59

Aufgrund der enormen Datenmenge, die in der wissenschaftlichen Literatur zu den gesundheitlichen Auswirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen mit kommerzieller Nutzung vorliegt, ist es nicht verwunderlich, dass im Rahmen des NFP 59 keine geeigneten Projekte, die neue Aspekte entsprechend bearbeitet hätten, eingereicht worden sind. Um für diesen Bereich dennoch relevante Informationen zur Verfügung zu stellen, wurde das aktuelle Wissen in einer breit angelegten Literaturstudie zusammengetragen. Darin wurden mehr als 1000 Quellen vorrangig aus den letzten 20 Jahren zusammengefasst und kritisch bewertet.^[4]

Mögliche Risiken gentechnisch veränderter Nahrung

- Als mögliche Risiken gentechnisch veränderter Nahrung werden die Aufnahme von Fremd-DNA und deren Einbau in Säugerzellen diskutiert. Nachgewiesen ist, dass die DNA aus der Nahrung, sowohl arteigene als auch artfremde, durch die Verdauung zu kleinen Bruchstücken abgebaut wird. So wurden beispielsweise bei Fütterungsstudien mit Ziegen Fragmente des Bt-Gens sowohl im Blut als auch in der Milch der Tiere gefunden. Jedoch ist die Integration der DNA aus gentechnisch veränderten Pflanzen ins tierische Genom sehr unwahrscheinlich und experimentell nicht nachgewiesen.^[1]
- In der gentechnisch veränderten Pflanze kann nicht nur das eingeführte Fremdgen, sondern auch die eigentliche gentechnische Modifikation unbeabsichtigte Nebeneffekte hervorrufen, was zu Risiken für die menschliche Gesundheit führen könnte. Weitere potenzielle Gefährdungen können durch veränderte Inhaltsstoffe eintreten, die durch stoffwechselbedingte Änderungen in der GVP entstehen.
- Spezielle Risiken gehen von im Freiland gezüchteten Pharmapflanzen aus, da sie Wirkstoffe produzieren, die auf Mensch und Tier wirken. Keinesfalls dürfen sie sich mit Pflanzen, welche für Lebensmittelzwecke angebaut werden, vermischen. Wenn Pharmapflanzen im Gewächshaus oder Pflanzenzellkulturen im Reaktor kultiviert werden, können diese Risiken vermieden werden.

aus der Familie der Cry-Proteine kodiert. Diese Proteine sind seit langem als Toxine bekannt, die spezifisch auf Frassschädlinge von Nutzpflanzen wirken. Deshalb wurden diese Toxine in der Landwirtschaft (auch im Biolandbau) großflächig gesprüht. Bei gentechnisch veränderten Pflanzen werden diese Bt-Proteine in

der Pflanze selbst produziert, wodurch sie eine deutliche Reduktion des Schädlingsbefalls erzielen. Die Toxizität dieser Proteingruppe ist beschränkt auf bestimmte Zielarthropoden (Käfer, Zweiflügler, Schmetterlinge). Für den Menschen und andere Säugetiere hingegen ist keine toxische Wirkung nachgewiesen.^[3]

Hingegen wurde gezeigt, dass Bt produzierende Pflanzen einen indirekten positiven Effekt für die tierische und menschliche Gesundheit haben. Denn gleichzeitig mit dem Befall durch den Frassschädling tritt oft auch eine Kontamination mit bestimmten Pilzgiften (Mykotoxine) auf, die auf Tier und Mensch neurotoxische Wirkung haben. So wurden nach Exposition mit verunreinigten Futtermitteln Fälle schwerer Erkrankungen bei Tieren beschrieben.

Im Vergleich zu konventionellen Pflanzenprodukten zeigen Produkte von Bt produzierenden GVP eine deutlich geringere

Mykotoxinbelastung, sind potenziell also weniger gesundheitsschädlich.

Antibiotikaresistenz

Für die Herstellung von gentechnisch veränderten Zellen oder Organismen werden mit den tatsächlichen Zielgenen zusätzlich auch Markergene mit eingebracht –

typischerweise sind dies Antibiotikaresistenzmarkergene (ARMG). Damit können jene Zellen und Organismen selektioniert werden, bei denen der Gentransfer erfolgreich verlaufen ist. Diese Selektion findet im Labor statt und diese ARMG oder alternative Markergene können anschliessend wieder entfernt werden. Während diese Vorgehensweise bei neuen GVP angewandt wird, sind die Antibiotikaresistenzgene in einigen bis heute kommerziell genutzten GVP aber noch immer vorhanden.

Resistenzgene kommen unabhängig von gentechnischen Methoden natürlicherweise in der Umwelt vor. Doch sie breiten sich zurzeit rapide aus. Der Grund dafür ist die übermässige oder falsche Anwendung von Antibiotika in der Human- und Veterinärmedizin. Dennoch bleibt zu klären, ob der vermehrte Einsatz von Antibiotikaresistenzgenen als Markergenen (vor allem für Neomycin-, Kanamycin- und Streptomycin-Antibiotika, die in der Medizin ein schmales Indikationsspektrum haben) im Zusammenhang mit GVP via horizontalen Gentransfer zu einem Anstieg der Resistenzen führt. Wäre dies der Fall, würde das zu einem vermehrten Auftreten von resistenten Krankheitserregern führen und somit ein Gesundheitsrisiko vor allem bei schwerkranken Patienten darstellen.

Bis heute konnte unter natürlichen Bedingungen keine Übertragung von Antibiotikaresistenzen von GVP auf Bakterien nachgewiesen werden.

Um die Möglichkeit eines solchen Gentransfers zu überprüfen, hat die Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde (EFSA) eine Studie durchgeführt. Bis dato konnte die Übertragung von Antibiotikaresistenzen von gentechnisch veränderten Pflanzen auf Bakterien unter natürlichen Bedingungen nicht nachgewiesen werden. Auch rein theoretisch ist ein Gentransfer kaum möglich, denn zwischen Pflanzen und Bakterien besteht keine genügend hohe Übereinstimmung der DNA-Sequenzen. Aufgrund der vorhandenen Datenlage beurteilt die EFSA das Risiko einer erhöhten Antibiotikaresistenz, verursacht durch GVP, daher als nicht relevant.^[4]

Allergien

Die neuen GVP werden hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe so verändert, dass sie eine verträglichere Alternative zur herkömmlichen Sorte darstellen oder Konsumenten mit speziellen Bedürfnissen entgegenkommen, zum Beispiel Nahrungsmittelallergikern. Für sie können allergenarme gentechnisch veränderte Nahrungsmittel eine sinnvolle Ergänzung ihrer Ernährung sein; denn zurzeit gibt es keine kausale Immuntherapie für Nahrungsmittelallergien. Daher ist die Vermeidung des auslösenden Nahrungsmittels die gegenwärtig einzige Möglichkeit, dem Leiden zu begegnen.

Erbsen und Bohnen sind verschieden

Ein spezielles Eiweiss, der Alpha-Amylase-Inhibitor (aAI), kann Pflanzen vor Schädlingsfrass schützen. Eine Forschergruppe in Australien hat das Gen für dieses Eiweiss aus der gemeinen Bohne (*Phaseolus vulgaris*) einer Erbse (*Pisum sativum*) eingesetzt.^[6] Anschliessend wurde in einem Experiment mit Mäusen untersucht, ob der Verzehr des Proteins aus der gentechnisch veränderten Erbse pathogene oder immunogene Wirkungen hat – zu denken wäre allenfalls an Asthma oder Ähnliches. Zwar fand man eine erhöhte immunogene Wirkung, aber keine erhöhte Allergenität der transgenen aAI-Erbse. Die Ursache wurde kleinen chemischen Unterschieden, sogenannten Glykosylierungsmustern zugeschrieben, die zwischen den aAI-Proteinen von Erbse und Bohne bestehen.

Jedoch hätte man auf das Mausexperiment auch verzichten können, wenn die Sicherheitsbewertung nach den gültigen Empfehlungen der EFSA und des Codex Alimentarius durchgeführt worden wäre. Hätte man vor der Verfütterung einen Vergleich der Aminosäuresequenz des gentechnisch veränderten Proteins mit den bekannten Allergensequenzen durchgeführt, wäre sehr schnell die Ähnlichkeit des aAI mit einem bekannten Allergen aus der Erdnuss sichtbar geworden (41 Prozent Sequenzhomologie bei einem cut-off von 35 Prozent). Ebenso wurden keine Tests mit Patientenseren von Allergikern durchgeführt. Diese Mäusestudie wurde in Fachkreisen hinsichtlich der Resultate und der Interpretation der Daten sehr kontrovers diskutiert. Die Vermarktung dieser transgenen Erbsensorte wurde vorsichtshalber nicht weiter verfolgt.

Jedoch konnte eine internationale Forschungsgruppe in einer 2011 veröffentlichten Folgestudie zeigen, dass die aAI-Proteine aus Bohne und Erbse vergleichbare immunogene und allergene Wirkungen haben.^[7] Zwar wurden die beim Verfütterungsversuch mit Mäusen entdeckten chemischen Unterschiede der beiden Proteine bestätigt, aber sie waren vergleichbar mit der Variabilität von verschiedenen Bohnensorten. Fazit: Bei der gentechnisch veränderten Erbse sind keine gentechnikspezifischen Risiken zu erkennen.

Dieses Beispiel zeigt erstens, wie die Anwendung international anerkannter Empfehlungen (Codex Alimentarius, EFSA) wichtige Informationen für die Risikobewertung liefern kann. Und zweitens, dass widersprüchliche wissenschaftliche Ergebnisse sorgfältig und unabhängig nachgeprüft werden müssen, zum Beispiel hinsichtlich ihrer Reproduzierbarkeit und Übertragbarkeit.

Publizierte Daten sollten mithilfe international anerkannter Empfehlungen bewertet und im Zweifelsfall einer umfangreicheren und vergleichenden Risikoprüfung nach Stand des Wissens unterzogen werden.

Zu beachten ist, dass nur zwei Prozent aller bekannten Proteinfamilien Nahrungsmittelallergene enthalten (siehe Box).^[5] Jedoch ist es möglich, die Produktion von allergenen Proteinen in einer Pflanze herunterzuregulieren oder ganz zu unterdrücken. Mithilfe der sogenannten dsRNAi-Technologie (siehe Kapitel 4.3) wurden die Hauptallergene im Apfel, in der Erdnuss, im Reis, in der Tomate und in der Sojabohne erfolgreich reduziert.

Zöliakie

Die Zöliakie oder Glutensensitive Enteropathie ist eine andere allergische Erkrankung, die etwa ein Prozent der Europäer betrifft und von bestimmten in Weizen und anderen Getreidearten vorhandenen Proteinen verursacht wird. Die Aufnahme der sogenannten Gliadinfraktion führt zu chronischen Darm-entzündungen, die bei Kleinkindern zu Malabsorption und Entwicklungsverzögerungen führen. Heilung gibt es für die Zöliakie nicht,

es bleibt lediglich die konsequente und lebenslange Vermeidung dieser Getreidearten und ihrer Produkte. Auch hier konnte bei Weizen mithilfe der dsRNAi-Technologie die Expression der Gliadine herunterreguliert werden. Da es sich aber um ein Nischenprodukt handelt, ist es fraglich, ob dieser Weizen je auf den Markt kommen wird.

Functional Food

Gentechnisch veränderte Pflanzen, die als sogenannte «Functional Foods» entwickelt werden, sollen vermehrt bestimmte Inhaltsstoffe wie Vitamine oder Ballaststoffe produzieren, die als gesundheitsfördernd und krankheitsvermeidend angesehen werden. Eines der meistzitierten Beispiele hierfür ist der «Goldene Reis», der von Ingo Potrykus und Mitarbeitern an der ETH Zürich entwickelt wurde. Dieser gentechnisch veränderte Reis produziert Provitamin A und soll den in weiten Teilen der asiatischen Bevölkerung vorherrschenden Vitamin-A-Mangel und die dadurch verursachten schweren Erkrankungen bekämpfen (siehe Kapitel 4, Meinung). Weitere Forschungsansätze zur Schaffung von «Functional Foods»

versuchen, bestimmte Stoffwechselvorgänge in Pflanzen zu verändern, um so Stoffe mit gesundheitsfördernder Wirkung herzustellen. Dazu gehören die Überexpression von Phytoöstrogenen, die Produk-

tion von ungesättigten Fettsäuren und die modifizierte Stärkesynthese in Pflanzen.

Derzeit werden diese Produkte, mit einer Ausnahme, noch nicht kommerziell genutzt. Sie müssen noch in weiterführenden Sicherheitsstudien evaluiert werden. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass durch die Änderung einzelner Stoffwechselwege keine gravierenden

Änderungen bei anderen Stoffwechselvorgängen auftreten. Eine Sojabohnensorte mit verbesserter Fettsäure-Zusammensetzung darf seit 2010 in den USA, Kanada und Mexiko kommerziell angebaut werden und ist als Nahrungs- und Futtermittel zugelassen.

Pharmapflanzen

Pflanzen, Pflanzenzellkulturen oder Algen, welche aufgrund von gentechnischen Veränderungen medizinisch wirksame Proteine (z. B. Antikörper, Wachstumsfaktoren oder Impfstoffe) produzieren, sollen hier ebenfalls diskutiert werden, wenngleich sie einen anderen Bezug zur menschlichen Gesundheit haben als gentechnisch veränderte Lebens- und Futtermittelpflanzen.

Vor 22 Jahren wurde erstmals ein tierischer Antikörper in einer Tabakpflanze produziert.^[8]

Diese Art der Produktion bietet, verglichen mit der Produktion von Fremdproteinen in tierischen Zellkulturen, einerseits einen ökonomischen Vorteil, da Pflanzen oder Pflanzenzellen einfachere und weniger teure Wachstumsmedien beanspruchen und Sonnenlicht als Energiequelle nutzen können. Gleichzeitig fallen bei Pharmapflanzen gewisse Risiken weg: Sie sind nicht mit tierischen Viren kontaminiert, wie es tierische Zellkulturen sein können. Und sie können keine Krebsgene produzieren.

Zudem sind in einigen Experimenten sehr hohe Konzentrationen des gewünschten Proteins erreicht worden.

Bis heute sind mittels gentechnischer Methoden eine ganze Reihe medizinisch wirksamer tierischer Proteine in Pharmapflanzen hergestellt worden, die in Bezug auf Proteinfaltung, Glykosylierung und andere Merkmale den Vorbildern aus tierischer Produktion entsprechen.^[8]

Einige dieser transgenen Produkte wurden auch in klinischen Versuchen getestet. Zugelassen wurden allerdings bisher nur wenige: ein Antikörper zur Kariesprophylaxe und einige Proteine, die für Forschung und Diagnostik verwendet werden (z. B. Laktoferrin aus Reis und Trypsin aus Mais). Am 1. Mai 2012 wurde ein Medikament gegen das Gaucher-Syndrom, einer seltenen Erbkrankheit, zugelassen. Ein Impfstoff gegen den Erreger einer ausserordentlich ansteckenden Krankheit bei Hühnern (das Newcastle-Disease-Virus) wurde zugelassen, ist aber noch nicht im Verkauf. Pharmapflanzen sind immer noch relativ neu und es könnte eine Weile dauern, bis sich solche Medikamente am Markt wirklich durchsetzen können. Auch im Rahmen des NFP 59 wurden zwei Ansätze für die Produktion medizinisch wirksamer Moleküle in pflanzlichen Zellen untersucht: Sogenannte transplastomische Tabakpflanzen,

Eine Sojabohne mit verbesserter Fettsäure-Zusammensetzung darf in den USA, Kanada und Mexiko angebaut werden und ist als Nahrungsmittel zugelassen.

det werden (z. B. Laktoferrin aus Reis und Trypsin aus Mais). Am 1. Mai 2012 wurde ein Medikament gegen das Gaucher-Syndrom, einer seltenen Erbkrankheit, zugelassen. Ein Impfstoff gegen den Erreger einer ausserordentlich ansteckenden Krankheit bei Hühnern (das Newcastle-Disease-Virus) wurde zugelassen, ist aber noch nicht im Verkauf. Pharmapflanzen sind immer noch relativ neu und es könnte eine Weile dauern, bis sich solche Medikamente am Markt wirklich durchsetzen können. Auch im Rahmen des NFP 59 wurden zwei Ansätze für die Produktion medizinisch wirksamer Moleküle in pflanzlichen Zellen untersucht: Sogenannte transplastomische Tabakpflanzen,

die Impfstoffe gegen das HI-Virus und das Hepatitis-C-Virus produzieren, und eine Grünalge, welche als Schluckimpfung bei Fischen eingesetzt werden kann. In beiden Fällen konnte das gewünschte Protein erzeugt werden, wenngleich noch in geringen Mengen. Im Falle der Schluckimpfung aus Grünalgen konnte gezeigt werden, dass die Forellen die gentechnisch veränderten Algen als Futter gut vertragen und keine negativen Effekte zu beobachten waren. Ein Impfschutz ist jedoch noch nicht erreicht worden (siehe Kapitel 1.3).

Gesetzliche Regelungen für die Zulassung von Medikamenten aus Pharmapflanzen wurden in der EU im Jahr 2006 erlassen.¹ In den USA existiert ein entsprechender Gesetzesentwurf, während es in der Schweiz noch keine spezifische Regelung gibt, was die Anmeldung eines derartigen Medikamentes erschwert.

RISIKOABSCHÄTZUNG

Gentechnisch veränderte Organismen werden – in der Schweiz und anderswo – nur zugelassen, wenn sie eine strenge Sicherheitsbewertung durchlaufen haben. Für die Risikoabschätzung haben der Codex Alimentarius, eine intergouvernementale Organisation, die auf internationaler Ebene Lebensmittelnormen harmonisiert und von der Ernährungs- und Landwirt-

schaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) finanziert wird und die EFSA (European Food Safety Authority) einen vergleichenden Ansatz festgelegt. Demzufolge sind erwartete und unerwartete Änderungen der GVP im Vergleich mit dem Wildtyp zu untersuchen. Gemäss diesem «Konzept der Familiarität» muss die transgene Pflanze so sicher sein wie die entsprechende seit langem angebau-

te Kulturpflanze, deren Risiken für Umwelt, Mensch und Tier gut bekannt sind.

Die GVP sollte, mit Ausnahme des eingeführten Gens, in Bezug auf Inhaltsstoffe der konventionellen Kon-

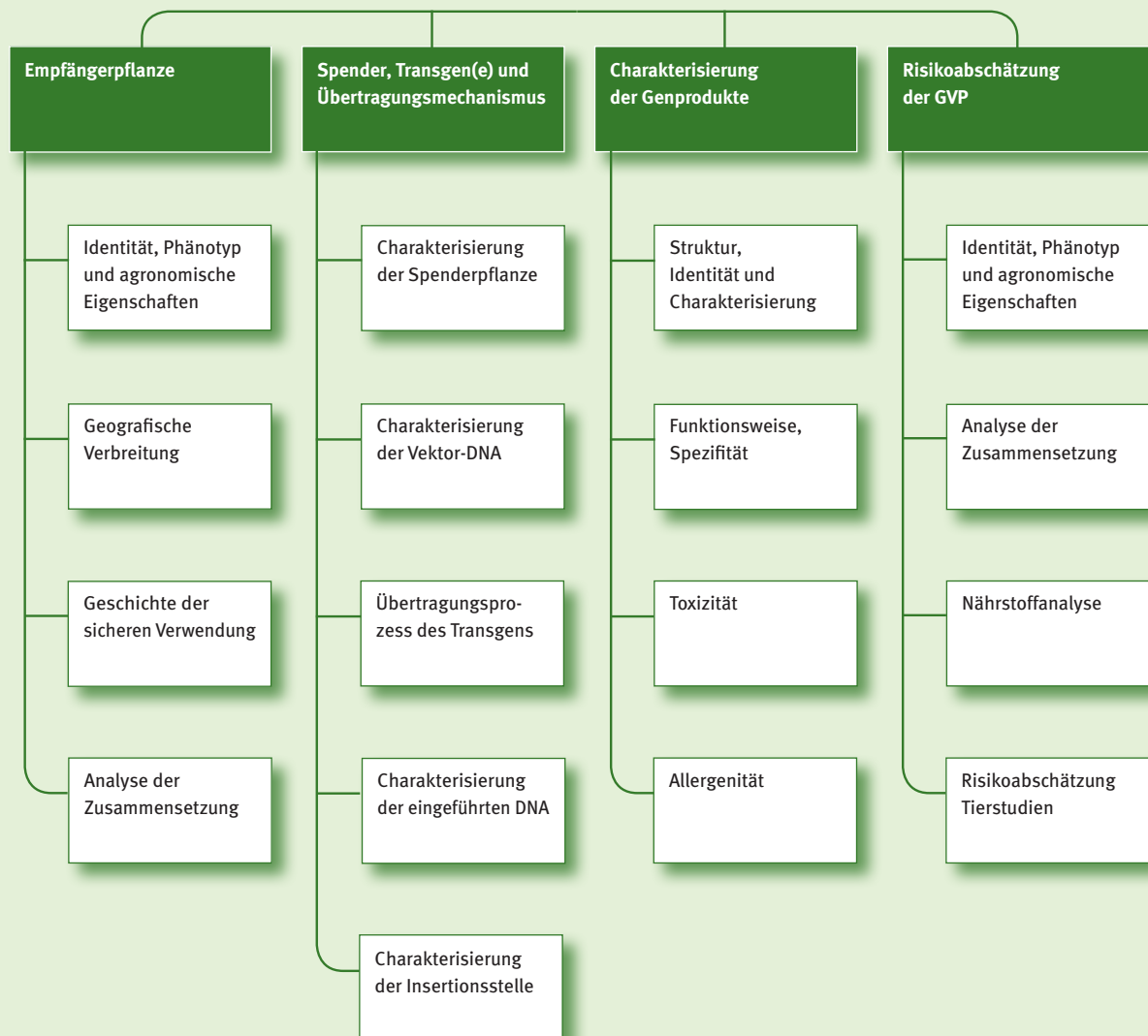
trollpflanze entsprechen (Konzept der substantiellen Äquivalenz oder vergleichende Sicherheitsanalyse).^{[9][10]}

Dabei darf auch der Aspekt der sogenannten «Novel Foods» nicht ausser Betracht gelassen werden: Das bedeutet, dass die Erfahrung mit lange bekannten Kulturpflanzen wie Kartoffel oder Mais weitaus grösser ist als mit neu eingeführten Gemüse- und Obstsorten wie zum Beispiel Wasserspinat oder Kiwi.

Das Schema der ebenfalls verlangten Umweltrisikoprüfung in der EU ist in Kapitel 1.1 vorgestellt und beinhaltet auch die Bewertung möglicher Gefahren für die Gesundheit von Mensch und Tier. Hier sollen nur die Aspekte der menschlichen

Eine transgene Pflanze muss so sicher sein wie die entsprechende, seit langem angebaute Kulturpflanze, deren Risiken für Umwelt, Mensch und Tier gut bekannt sind.

Abbildung 3.1: Sicherheitsanalyse bezüglich menschlicher Gesundheit



Merkmale der gentechnisch veränderten Pflanze werden im Vergleich zu jenen der konventionellen Vergleichspflanze analysiert, um mögliche Schäden für die menschliche Gesundheit abzuschätzen. Dazu sind fundierte Daten zu den neuen Bestandteilen und Eigenschaften der GVP nötig. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Gesundheit behandelt werden. Zusammenfassend kann eine gentechnisch veränderte Pflanze zugelassen werden,

- wenn die GVP so sicher ist wie die konventionelle Vergleichspflanze.
- wenn ausreichende und fundierte Daten vorliegen, damit die Sicherheit nach wissenschaftlichen Kriterien bewertet werden kann.

Bei einem Antrag für die Bewilligung einer gentechnisch veränderten Pflanze muss der Antragsteller eine Reihe wissenschaftlicher Daten liefern. In Abbildung 3.1 ist der Anforderungskatalog schematisch zusammengefasst, der als Grundlage für die Sicherheitsanalyse bezüglich menschlicher Gesundheit und GVP dient.

Mithilfe wissenschaftlicher Methoden müssen die zur Zulassung angemeldeten Lebensmittel beispielsweise auf Allergenität und Toxizität untersucht und deren Nährstoffzusammensetzung mit jener der Kontrollpflanze verglichen werden. In den meisten Fällen werden auch Resultate von Fütterungsversuchen mitgeliefert.

In den letzten Jahren sind auch Technologien entwickelt worden, mit deren Hilfe beispielsweise die Gesamtheit der Proteine (Proteomics) oder der Stoffwechselprodukte (Metabolomics) erfasst wird und so GVP mit ihrem isogenen Gegenpart

verglichen werden können.^{[11][12]} Bevor diese Methoden angewendet werden dürfen, müssen sie standardisiert und international akzeptiert werden. Diese Methoden ergänzen die existierenden Analysemethoden, werden sie aber nicht ersetzen.

Während die oben genannten Methoden vor der Zulassung einer GVP zur Anwendung kommen, ist auch die Einführung eines sogenannten «Post-market-Monitoring-Programms» denkbar. Es erfasst unerwünschte und unerwartete Reaktionen bei hochsensiblen Konsumenten. Die praktische Umsetzung und Machbarkeit dieser Methode ist jedoch im Detail noch nicht klar. Denkbar ist aber die Etablierung von zentralen Melderegister für Nebenwirkungen von

Medikamenten. Vorab sind jedoch Methoden zur Rückverfolgbarkeit und Identifizierung des allergieauslösenden Nahrungsmittels zu entwickeln und valide Referenzmarker zu bestimmen.

In der Schweiz sind die Anforderungen für die Zulassung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln in der Verordnung über gentechnisch veränderte Lebensmittel (SR 817.022.51) festgelegt. Der Fragekatalog ist gleichwertig mit denjenigen des Codex Alimentarius und der EFSA.

Unerwartete Reaktionen von hochsensiblen Konsumenten könnten in einem «Post-market-Monitoring» überwacht werden, ähnlich wie die Nebenwirkungen von Medikamenten.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

1. In den letzten 20 Jahren wurde parallel zur Entwicklung der GVP der ersten Generation auch die Entwicklung der nationalen und internationalen Sicherheitsbewertung inklusive möglicher toxischer Risiken für Mensch und Tier durch GVP vorangetrieben. Bis zum derzeitigen Zeitpunkt sind keine gesundheitliche Schäden kommerziell genutzter GVP bekannt.
2. Für die GVP der zweiten und dritten Generation wird eine Vielzahl verschiedener Genprodukte eingesetzt. Hier gilt es, die geltende Sicherheitsbewertung (Konzept der Familiarität und Äquivalenz) anzupassen und eventuell, unter Einbezug der aktuellen analytischen State-of-the-Art-Methoden, zu erweitern, um das Genom/Transkriptom, das Proteom und das Metabolom zu evaluieren.
3. Kritisch zu hinterfragen ist, wie zeitgemäss und aussagekräftig die empfohlenen Tiermodelle für relevante Fragen nach möglicher Toxizität und Immunogenität sind und welche alternativen Testmethoden einzusetzen sind.
4. Für die Identifizierung von möglichen negativen Langzeiteffekten von GVP und deren Produkten wäre die Einführung von «Post-market-Monitoring» zu empfehlen.
5. Neben der Nutzung von GVP als Nahrungs- und Futtermittel hat auch deren Einsatz für die Produktion von pharmazeutischen Wirkstoffen an Bedeutung gewonnen. In diesem Zusammenhang ist es notwendig, die Sicherheitsauflagen von Pharmapflanzen entsprechend den Auflagen der guten Herstellungspraxis für die Gewinnung von Pharmazeutika anzupassen.
6. In der Schweiz ist die wissenschaftliche Expertise zum Thema «Pharmapflanzen» vorhanden. Zu hinterfragen ist, inwieweit es sich die Schweiz als Wissens-, Innovations- und Produktionsplatz leisten kann, in diesem Bereich die internationale Entwicklung nicht mitzumachen. Ob diese Forschungsrichtung auch in Zukunft adäquate Ressourcen erhalten wird, hängt nicht zuletzt von der politischen Entscheidung ab.

ENDNOTEN

- 1 Doc. Ref.: EMEA/CHMP/BWP/48316/2006

LITERATUR

- [1] Hoffmann-Sommergruber, K., Dorsch-Häsler, K. (2012) Medical Issues Related to Genetically Modified Plants of Relevance to Switzerland. vdf, Zürich 2012.
- [2] Kouser, S., Qaim, M. (2011) Impact of Bt cotton on pesticide poisoning in smallholder agriculture: A panel data analysis. *Ecol Econ* 70(11), 2105-2113.
- [3] US Environmental Protection Agency (EPA)(2001, Oct 15) Biopesticides Registration Action Document (BRAD) – *Bacillus thuringiensis* Plant-Incorporated Protectants.
- [4] EFSA (2009) Consolidated presentation of the joint Scientific Opinion of the GMO and BIOHAZ Panels on the Use of Antibiotic Resistance Genes as Marker Genes in Genetically Modified Plants. and the Scientific Opinion of the GMO Panel on .Consequences of the Opinion on the Use of Antibiotic Resistance Genes as Marker Genes in Genetically Modified Plants on Previous EFSA Assessments of Individual GM Plants. *EFSA J* 1108, 1-8.
- [5] Radauer, C., Bublin, M., Wagner, S., Mari, A., Breiteneder, H. (2008) Allergens are distributed into few protein families and possess a restricted number of biochemical functions. *J Allergy Clin Immun* 121(4), 847-52.e7.
- [6] Prescott, V. E., Campbell, P. M., Moore, A., Mattes, J., Rothenberg, M. E., Foster, P. S., Higgins, T. J., Hogan, S.P. (2005) Transgenic expression of bean alpha-amylase inhibitor expression in peas results in altered structure and immunogenicity. *J Agr Food Chem* 53, 9023-9030.
- [7] Campbell, P. M., Reiner, D., Moore, A. E., Lee, R.-Y., Epstein, M. M., Higgins, T.J.V. (2011) Comparison of the α -amylase inhibitor-1 from common bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties and transgenic expression in other legumes–post-translational modifications and immunogenicity. *J Agr Food Chem* 59, 6047-6054.
- [8] Paul, M., Ma, J. K. C. (2011) Plant-made pharmaceuticals: Leading products and production platforms. *Biotechnol Appl Bioc* 58(1), 58-67.
- [9] Codex Alimentarius (2009) Foods derived from modern biotechnology. Codex Alimentarius Commission, Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Second Edition (Rome).
- [10] EFSA (2011) EFSA Panel on Genetically Modified Organisms. Guidance for risk assessment of food and feed from genetically modified plants. Scientific opinion. *EFSA J* 9(5), 2150.
- [11] Shewry, P. R., Baudo, M., Lovegrove, A., Powers, S., Napier, J. A., Ward, J. L., Baker, J. M., Beale, M. H. (2007) Are GM and conventionally bred cereals really different? *Trends Food Sci Tech* 18, 201-9.
- [12] EFSA (2010) EFSA Panel on Genetically Modified Organisms. Scientific Opinion on the assessment of allergenicity of GM plants and microorganisms and derived food and feed. *EFSA J* 8(7), 1700.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

3.2 Meinung, Konsum, Kommunikation und Akzeptanz

Die Akzeptanz der Gentechnologie in der Schweiz hängt vom Verhalten der Konsumenten und der Stimmbürger ab. Fehlt bei den Konsumenten die Bereitschaft, gentechnisch veränderte Lebensmittel zu kaufen, dann scheitert die Grüne Gentechnologie aus finanziellen Gründen. Zudem setzen die Wähler die rechtlichen Rahmenbedingungen fest, unter denen neue Technologien entwickelt und eingesetzt werden können. Diese Entscheidungsprozesse sind in der Schweiz stark von der direkten Demokratie geprägt. Deshalb ist es wichtig, die Entscheidungen am Verkaufsregal und beim Ausfüllen des Stimmzettels besser zu verstehen.

MICHAEL SIEGRIST

THOMAS BERNAUER

Die Forschungsergebnisse aus dem NFP 59 wurden für dieses Kapitel durch Michael Siegrist und Thomas Bernauer zusammengefasst. Anschliessend folgt von Joachim Scholderer ein Auszug aus der *Literaturstudie Gesellschaft, Agrarökonomie und Koexistenz in Europa*.

AKZEPTANZ NEUER TECHNOLOGIEN

Die Grüne Gentechnologie hat mit Akzeptanzproblemen zu kämpfen, denn die Bevölkerung verbindet mit dieser Technologie diffuse Risiken. Gleichzeitig haben die Konsumenten

Schwierigkeiten, in gentechnisch veränderten Lebensmitteln einen Nutzen zu erkennen. Zu diesem Ergebnis kommen nicht nur die Studien des NFP 59, sondern

auch viele internationale Untersuchungen. Jedoch ist die fehlende Akzeptanz neuer Technologien im Bereich der Lebensmittel nicht auf die Grüne Gentechnologie beschränkt.^[1] Im Bereich der Ernährung ist die Akzeptanz neuer Technologien generell gering. Ob es um die Bestrahlung von Lebensmitteln geht oder um den Einsatz von Konservierungsstoffen: Ein Teil der Konsumentinnen und Konsumenten sieht darin unnötige Risiken und keinen praktischen Nutzen. Allerdings kann von einer generellen Technikablehnung der Schweizer Bevölkerung keine Rede sein. Die Konsumenten sind bereit, neue Technologien wie das Internet oder Smart Phones zu nutzen, weil bei diesen Innovationen der Nutzen direkt erfahrbar ist.

Bei der Grünen Gentechnologie wird in der Öffentlichkeit oft und zum Teil heftig über Risiken diskutiert. Diesen Debatten stellen Industrie und Wissenschaft die Vermittlung von Faktenwissen gegenüber und

versuchen so, die Risikowahrnehmung der Bevölkerung zu beeinflussen. Ein Vorgehen, das jedoch nicht vielversprechend ist.

Denn gerade bei der Wahrnehmung unbekannter Risiken spielt weniger mangelndes Wissen eine Rolle als vielmehr

Emotionen und Affekte:

Sie bestimmen, wovor wir uns fürchten. Zudem werden Nutzen und Risiken nicht unabhängig voneinander eingeschätzt. Ist bei einer Technologie ein grosser

Nutzen zu erkennen, werden automatisch weniger Risiken wahrgenommen. Ist hingegen kein klarer Nutzen erkennbar, dann werden selbst geringe Risiken als hoch wahrgenommen.

DIE HALTUNG DER KONSUMENTEN ZUR GRÜNEN GENTECHNOLOGIE

Wie fällen wir Entscheidungen?

Verschiedene sozialwissenschaftliche Fachrichtungen versuchen, das menschliche Entscheidungsverhalten zu erklären. Ein oft benutztes Erklärungsmodell geht davon aus, dass man zwischen zwei Entscheidungssystemen unterscheiden muss.^[2] Diese werden als erfahrungsbasiertes System und als analytisches System bezeichnet.

- Beim **erfahrungsbasierten System** spielen Affekte und Emotionen eine zentrale Rolle. Dabei wird die Realität in konkreten Bildern, Metaphern und

Geschichten dargestellt. Assoziationen und die damit verbundenen Affekte bestimmen, ob wir uns vor einer neuen Technologie fürchten oder nicht.

- Mit dem **analytischen System** benötigen wir viel Zeit, um zu einer Entscheidung zu kommen. Die Realität wird in abstrakten Symbolen, Wörtern oder Zahlen abgebildet. Logik und Evidenz sind wichtig für eine Entscheidung. Das analytische System erlaubt genauere und präzisere Einschätzungen der Risiken, mit denen wir uns auseinandersetzen müssen.

Die meisten Konsumenten können sich bei ihren Kaufentscheidungen nicht auf das **analytische System** verlassen – das gilt übrigens selbst für Wissenschaftler, wenn sie in der Rolle des Konsumenten sind.

Im Rahmen des NFP 59 wurde das Wissen über Gentechnologie mit einer schriftlichen Umfrage bei einer Zufallsstichprobe von 830 Personen in der Deutschschweiz ermittelt. Die Resultate zeigen, dass das Wissen zum Thema Gentechnologie in der

Schweizer Bevölkerung sehr gering ist.^[3] So konnten beispielsweise bei der Aussage «Beim Verzehr gentechnisch veränderter Lebensmittel können sich die neu eingeführten Gene in das menschliche Genom einbauen» nur 49 Prozent der Befragten die korrekte Antwort «stimmt nicht» geben.

Oft wird in der Literatur vermutet, dass die Gentechnologie als Risiko wahrgenommen wird, weil Gene ganz unterschiedlicher Organismen kombiniert werden können. Überraschend ist deshalb, dass auch die Aussage «Es ist noch nicht möglich, tierische Gene in Pflanzen zu übertragen» nur ein kleiner Teil der Befragten richtig einschätzen konnte. Lediglich 13 Prozent antworteten mit «nicht korrekt», 28 Prozent mit «korrekt» und 59 Prozent mit «weiss nicht».

Auch bezüglich der Anwendung der Gentechnologie ist wenig Wissen vorhanden. Auf die falsche Aussage «Impfstoffe können noch nicht gentechnisch hergestellt werden» antworteten nur 33 Prozent mit der richtigen Antwort «stimmt nicht».

Möglicherweise ist aber das Wissen gar nicht so wichtig. Denn die Umfrage zeigte auch, dass das Wissen der Konsumenten über Gentechnologie keinen nennens-

werten Einfluss auf die Akzeptanz der Technologie hatte. So nahmen besser informierte Personen die Technologie nicht automatisch positiver oder negativer wahr. Darum ist nicht zu

erwarten, dass die Vermittlung von biologischem Wissen im Allgemeinen oder zusätzlichem Wissen zur Gentechnologie im Speziellen die Akzeptanz der Bevölkerung für die Gentechnologie erhöhen wird.

Da das Wissen fehlt, müssen sich die meisten Konsumenten bei ihren

Die meisten Konsumenten können sich bei ihren Kaufentscheidungen nicht auf Zahlen, Fakten und Logik verlassen.

Einschätzungen der Gentechnologie auf das **erfahrungsbasierte System** verlassen. Bei diesen Entscheidungen spielen die Bilder und Metaphern, welche der Begriff «Gentechnologie» auslöst, eine wichtige Rolle. Eine im Rahmen des NFP 59 durchgeführte Studie zeigt, dass es nicht einfach Ängste oder Unbehagen sind. Die Studienteilnehmer mussten ihre spontanen Gedanken nennen, wenn sie das Wort «Gentechnologie» hören.^[4] Dabei fällt auf, dass die Befragten häufiger Bilder aus den Bereichen der Landwirtschaft und

Lebensmittelproduktion nannten und viel weniger Assoziationen mit Bezug zur Medizin fanden. Zudem mussten die Befragten für jede Assoziation auf einer Skala von «sehr positiv» bis «sehr negativ» eine Evaluation vornehmen. Der Mittelwert dieser affektiven Einstufung galt als neutral. Dabei assoziierte ungefähr die Hälfte der Befragten die Gentechnologie spontan mit etwas Positivem, der anderen Hälfte

Ist bei einer Technologie kein klarer Nutzen erkennbar, dann werden selbst geringe Risiken als hoch wahrgenommen.

kamen negative Bilder in den Sinn. Diese spontanen Assoziationen hatten so dann einen Einfluss auf hypothetische Kaufentscheidungen: Je positiver die Assoziationen waren, desto eher waren die Personen auch bereit, gentechnisch veränderte Lebensmittel zu kaufen.

Unterschiedliche Anwendungen der Gentechnologie werden von den Konsumenten verschieden wahrgenommen. So werden Anwendungen

Abbildung 3.2: Versuchsfeld mit gentechnisch verändertem Weizen in Pully bei Lausanne



Gentechnologie weckt in weiten Teilen der Bevölkerung Ängste. Besonders, wenn Experimente in unmittelbarer Nähe durchgeführt werden. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.3: Präferenzen von Konsumenten für gentechnisch veränderte Nahrungsmittel



Konsumenten müssen einen direkten Nutzen in einem Produkt sehen, sonst findet es wenig Anklang.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

mit einem für den Konsumenten direkt ersichtlichen Nutzen positiver beurteilt als Anwendungen, bei denen der Konsument keinen direkten Nutzen erkennen kann. Konkret werden bei medizinischen Anwendungen der Nutzen höher und die Risiken tiefer eingeschätzt als bei nicht medizinischen Anwendungen. Deshalb ist die Akzeptanz der medizinischen Anwendungen entsprechend grösser.

Die Grüne Gentechnologie hat also gemäss den NFP-59-Studien in der Schweiz nach wie vor mit Akzeptanzproblemen zu kämpfen.

Die Konsumentinnen und Konsumenten zeigen aber auch Skepsis gegenüber anderen neuen und unbekannten Lebensmitteltechnologien. Denn naturbelassene Lebensmittel, die ohne den Einsatz von Technologien hergestellt werden, werden als ideal wahrgenommen. Aus Sicht der Laien sind deshalb gentechnisch veränderte Produkte keine «natürlichen Produkte».^[5] Vielen Konsumenten dürfte dabei nicht klar sein, dass auch hinter der traditionellen Züchtung eine aufwendige Technologie

steht. Wichtig ist die Erkenntnis, dass bei der Wahl von Lebensmitteln Gewohnheiten und emotionale Aspekte eine sehr wichtige Rolle spielen. Lebensmitteltabus beeinflussen, was wir essen und was nicht. Diese Tabus sind kulturell verschieden. Und es ist schwierig, rationale Gründe für diese Esstabus zu finden. Sicher ist aber, dass emotionale Faktoren, die sich nicht durch Informationen beeinflussen lassen, eine wichtige Rolle spielen.

Wie reagieren Konsumenten auf gentechnisch veränderte Produkte?

Die Bereitschaft der Konsumenten, gentechnisch veränderte Produkte zu erwerben, untersuchte im NFP 59 eine Verkaufsstudie.^[6] In mehreren Schweizer Städten wurde an Wochenmärkten Maisbrot verkauft. Die Konsumenten hatten die Wahl zwischen Bio-, konventionellem und gentechnisch verändertem Maisbrot. Wobei der Preis des gentechnisch veränderten Maisbrotes variiert wurde.

Je nach Verkaufstag war das gentechnisch veränderte Produkt billiger, gleich teuer oder teurer als das konventionelle. Am häufigsten kauften die Konsumenten das Bio-Brot, am wenigsten häufig das gentechnisch veränderte. Immerhin entschieden sich im Durchschnitt 23 Prozent der Konsumenten für ein gentechnisch verändertes Maisbrot.

Nach dem Kaufentscheid wurde eine Befragung durchgeführt. Sie zeigt, dass die Neugier der Konsumenten ein wichtiger Grund war, das gentechnisch veränderte Maisbrot zu kaufen. Darum lässt sich aufgrund dieser Studie nur begrenzt darauf schliessen, wie viele Konsumenten wiederholt das gentechnisch veränderte Produkt kaufen würden. Der Vorteil der Studie ist aber,

dass die Konsumenten – im Gegensatz zu vielen anderen ähnlichen Studien – keine hypothetische, sondern eine reale Kaufentscheidung treffen mussten.

Wie schon oben gesagt, zeigen alle Studien zur Grünen Gentechnologie deutlich, dass die Akzeptanz der Konsumenten nur

schwach durch die realen Risiken bestimmt wird. Viel entscheidender ist der wahrgenommene Nutzen.^[3] Das heisst: Wenn Konsumenten einen Zusatz-

nutzen erkennen können, dann sind sie auch bereit, solche Produkte zu kaufen. Bedeutet allenfalls ein tieferer Preis solch einen Zusatznutzen?

Die im NFP 59 durchgeführten Befragungen und Verkaufsstudien zeigen, dass ein Teil der Konsumenten die gentechnisch veränderte Variante wählt, wenn sie

günstiger ist. So konnte in der Studie mit gentechnisch veränderten Maisbroten gezeigt werden, dass es einen (allerdings eher schwachen) Zusammenhang zwischen dem Preis und der Anzahl ver-

kaufter gentechnisch veränderter Maisbrote gibt.^[7] In eine ähnliche Richtung deutet die repräsentative Umfrage in der Bevölkerung. Hier wurde die Zahlungsbereitschaft der Konsumenten in einer hypothetischen Kaufsituation untersucht.^[4]

Aus Sicht der Laien sind gentechnisch veränderte Produkte keine «natürlichen Produkte».

Damit die Konsumenten gentechnisch veränderte Lebensmittel wählen, muss ihr Preis tiefer sein als jener von konventionellen Lebensmitteln.

Die Moratoriums-Initiative

Die formelle Bezeichnung der Moratoriums-Initiative lautet «Volksinitiative für Lebensmittel aus gentechnikfreier Landwirtschaft». Durch die Annahme der Initiative wurde die Bundesverfassung wie folgt ergänzt: «Die schweizerische Landwirtschaft bleibt für die Dauer von fünf Jahren nach Annahme dieser Verfassungsbestimmung gentechnikfrei. Insbesondere dürfen weder eingeführt noch in Verkehr gebracht werden: a. gentechnisch veränderte vermehrungsfähige Pflanzen, Pflanzenteile und Saatgut, welche für die landwirtschaftliche, gartenbauliche oder forstwirtschaftliche Anwendung in der Umwelt bestimmt sind; b. gentechnisch veränderte Tiere, welche für die Produktion von Lebensmitteln und anderen landwirtschaftlichen Erzeugnissen bestimmt sind.» Im März 2010 beschloss das Parlament, das Moratorium bis zum November 2013 zu verlängern.

Es zeigte sich, dass die Zahlungsbereitschaft für eine Tafel Schokolade beim gentechnisch veränderten Produkt deutlich geringer war als beim konventionellen Produkt. Somit zeigen sowohl die Verkaufsstudie wie auch die hypothetischen Entscheidungen, dass der Preis von gentechnisch veränderten Lebensmitteln tiefer sein muss als der von konventionellen Lebensmitteln, damit die Konsumenten die gentechnisch veränderte Variante wählen.

Im europäischen Vergleich weist die Schweiz ein relativ hohes Ausmass an Skepsis gegenüber der Gentechnologie auf (siehe Abbildung 3.4).^[8] In Bezug auf

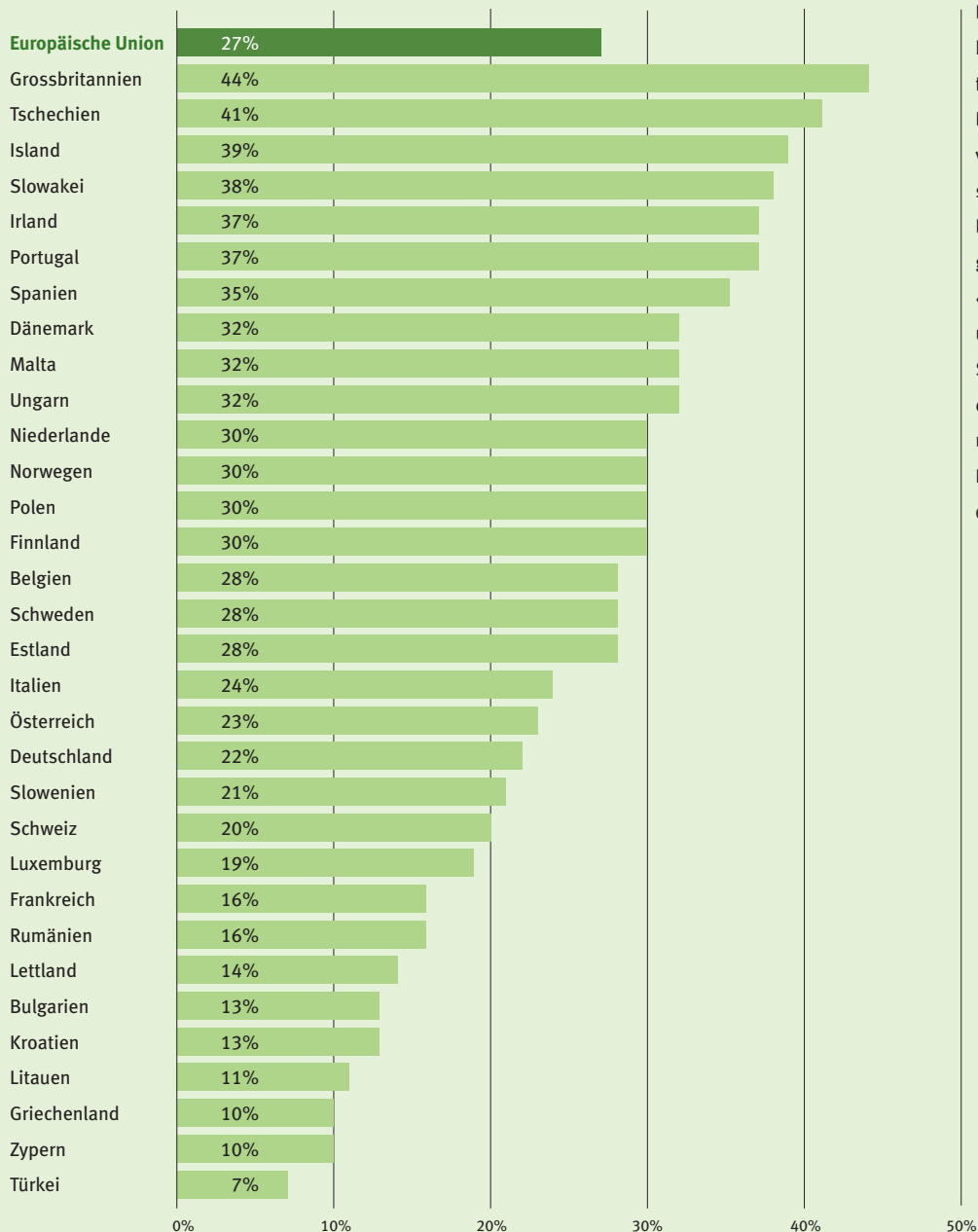
die Erklärungsfaktoren ergeben sich jedoch grosse Ähnlichkeiten: Männer befürworten die Gentechnologie in der Landwirtschaft mehr als Frauen. Personen mit höherer Bildung sind nicht unbedingt gentechnikfreundlicher. Die Religionszugehörigkeit hat ebenfalls keinen Effekt. Das Wissen über die Gentechnologie ist relativ gering und Unterschiede im Wissen scheinen kaum einen Effekt auf die Akzeptanz zu haben. Der wichtigste Unterschied zur Schweiz ist, dass in Europa insgesamt die Einstellung jüngerer Personen positiver ist als diejenige älterer Personen. In der Schweiz sind ältere Personen gentechnikfreundlicher.

DIE HALTUNG DER STIMMBÜRGER ZUR GRÜNEN GENTECHNOLOGIE

Die Moratoriums-Initiative (siehe Box) ist bisher die wichtigste politische Weichenstellung zur Grünen Gentechnologie. Am 27. November 2005 wurde sie von rund 56 Prozent der Stimmenden angenommen. Auch das für Initiativen ebenfalls verlangte Ständemehr wurde erreicht: Sämtliche Kantone stimmten der Vorlage zu.^[9]

Die nach Volksabstimmungen regelmässig durchgeführte Vox-Analyse liefert interessante Einsichten zu diesem Entscheid.^{[10][11]} Besonders sticht hervor, dass ein beachtlicher Teil der Stimmenden die Vorlage falsch verstand: Rund 13 Prozent der gegen die Initiative Stimmenden wollten mit ihrem Nein eigentlich gegen

Abbildung 3.4: Zustimmung zur Förderung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln



In der Eurobarometer-Umfrage bewerteten die Befragten folgende Aussage: «Die Entwicklung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln sollte gefördert werden.» Die Grafik zeigt zusammengefasst die Antworten «stimme vollkommen zu» und «stimme eher zu». In der Schweiz stimmen 20 Prozent der Antwortenden der Förderung gentechnisch veränderter Lebensmittel zu.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

die Gentechnologie votieren, stimmten damit aber gegen ein Moratorium. Die Zustimmungsrates liegt de facto also deutlich über 60 Prozent. Bemerkenswert ist auch, dass rund 68 Prozent der Stimmentenden der Auffassung waren, es werde über ein generelles Verbot von Gentechnikerzeugnissen abgestimmt. Nur rund ein Drittel war mit den Details der Initiative vertraut.

Das Abstimmungsverhalten war geprägt von Werthaltungen. Bei komplexen Themen reduzieren die Abstimmenden oft ihren Informationsaufwand, indem sie gemäss den Empfehlungen einer ihnen nahestehenden Partei stimmen.

Dies traf jedoch bei der

Gentechnikfrei-Initiative

nur sehr beschränkt

zu, was letztlich auch

die Divergenz zwischen

mehrheitlicher Mei-

nung in Parlament und

Regierung einerseits

und Volksmeinung andererseits erklärt.

Jeder zweite Sympathisant der SVP und der CVP folgte der Parteiempfehlung nicht. Die Sympathisanten von SP und FDP hingegen folgten mehrheitlich der Parteilinie.

Bei diesen Abweichungen spielten generelle Werthaltungen eine entscheidende Rolle. Dabei fiel die grundsätzliche Einstellung zum Wirtschaftssystem und insbesondere zu Staatsinterventionen am stärksten ins Gewicht. Befürworter von Staatsinterventionen waren eher

für die Initiative, Befürworter der freien Marktwirtschaft eher dagegen. Entsprechend hatte die Selbsteinstufung auf einer politischen Links-rechts-Skala einen grossen Effekt auf das Abstimmungsverhalten.

Rund 20 Prozent der Ja-Stimmenden sahen sich als sehr starke (radikale) Gegner der Gentechnologie. Rund 30 Prozent der Ja-Stimmenden entschied auf der Basis von Nützlichkeitsabwägungen: Sie erachten herkömmlich gezüchtete Sorten als geschmacklich besser und gesünder.

Die Gegner der Initiative befürchteten vor allem negative Auswirkungen auf die Forschung. In der Befragung erhielten die

Statements «Es braucht

eine Denkpause, um

offene Fragen zu klä-

ren» und «Gentechnikfreie

Landwirtschaft bewahrt

die natürliche Vielfalt

bei Pflanzen und Tie-

ren» die meiste Unter-

stützung. Allerdings wollen weit über 80 Prozent der Befragten die Wahlfreiheit zwischen Gentechnik- und gentechnikfreien Produkten.

Das Alter und die Sprache spielten beim Abstimmungsentscheid ebenfalls eine gewisse Rolle. Abstimmende im Pensionsalter votierten mehrheitlich gegen die Initiative. Ihre Beweggründe scheinen mehr als bei anderen Altersgruppen in einer gewissen Angst vor negativen Effekten auf die Forschung zu liegen. Französischsprachige Personen stimmten der

Die öffentliche Meinung ist seit der «Gen-Schutz» - Abstimmung von 1998 stabil ambivalent bis negativ geblieben.

Initiative häufiger zu. In der Romandie und im Tessin erhielt die Initiative denn auch rund zehn Prozent mehr Stimmen als in der Deutschschweiz (63,5 Prozent in der Romandie gegenüber 52,7 Prozent in der Deutschschweiz). Das Geschlecht hatte interessanterweise keinen Einfluss auf das Abstimmungsverhalten, dies obwohl Frauen im Allgemeinen technik-kritischer sind als Männer.

Wie stabil sind die Einstellungen zur Grünen Gentechnologie?

Im Projekt *Die Grüne Gentechnologie in der Öffentlichkeit* wurde mittels einer repräsentativen Umfrage untersucht, ob sich die bei der Abstimmung von 2005 zutage tretende öffentliche Meinung seither verändert hat.^[12] Die Resultate zeigen, dass die öffentliche Meinung seit der «Gen-Schutz»-Abstimmung von 1998 stabil ambivalent bis negativ geblieben ist. Das Meinungsbild scheint klar dreigeteilt: Rund 30 Prozent der Befragten befürworten die Gentechnologie, 36 Prozent sind ambivalent, 34 Prozent dagegen. Eine Mehrheit von 54 Prozent der Befragten befürwortete die Verlängerung des Moratoriums (wie sie dann vom Parlament auch beschlossen wurde). Selbst bei den Befürwortern der Gentechnologie betrug dieser Anteil 46 Prozent. Insgesamt ist die Gentechnologie-Frage aus Sicht der Schweizer Bevölkerung im Vergleich zu anderen Themen wie beispielsweise die Wirtschaftskrise momentan von eher geringer Relevanz.

Wie verlässlich sind die Aussagen in Umfragen?

Auf Aussagen in Umfragen kann man sich bei politischen Entscheidungen nur dann verlassen, wenn die Einstellungen auch einigermaßen stabil sind. Es könnte sein, dass die Befragten keine ausgeprägten Einstellungen gegenüber der Gentechnologie haben. Dann würden sie mehr oder weniger zufällig eine Antwort auswählen. Möglicherweise ist die Gentechnologie aber schon so lange in der öffentlichen Diskussion, dass die meisten eine stabile Einstellung und deshalb auch keine Schwierigkeiten haben, die Fragen sinnvoll zu beantworten. Im Projekt *Fairness, Affekte, Vertrauen und Akzeptanz von GVP* wurden 2008 und 2010 bei denselben Personen die Nutzen- und die Risikowahrnehmung verschiedener gentechnologischer Anwendungen gemessen. Es zeigte sich, dass sowohl die Wahrnehmung von Nutzen als auch die von Risiken während der zwei Jahre sehr stabil blieb. Die Daten sprechen also dafür, dass die Befragten relativ stabile Einstellungen gegenüber der Gentechnologie haben.

Stimmbürger als Konsumenten

Im Projekt *Präferenzen für gentechnisch veränderte Nahrungsmittel in Direktmarketing-Experimenten* wurde der Zusammenhang zwischen der Bereitschaft, ein gentechnisch verändertes Brot zu kaufen, und dem Abstimmungsverhalten bei der Moratoriumsinitiative untersucht.^[7] Die Resultate zeigen deutlich, dass es keinen

Zusammenhang zwischen Abstimmungs- und Konsumverhalten gibt. Das Ergebnis überrascht allerdings nicht. Denn Stimmbürger und Konsument sind zwei unterschiedliche Rollen, bei denen auch unterschiedliche Kriterien die Entscheidungen beeinflussen.

Beim Einkaufsverhalten hatte der Preis der Produkte einen Einfluss, weil dieser von den Forschenden eindeutig angegeben wurde. Hingegen standen für den Stimmbürger die Lebensmittelpreise nicht im Zentrum. Auch können Bedenken in Bezug auf die Patentierung von Lebewesen und einen stärkeren Einfluss der Saatguthersteller

das Abstimmungsverhalten beeinflussen. Beim Einkaufsverhalten spielen dagegen Faktoren wie Geschmack, Neugierde oder der Preis der Produkte eine wichtige Rolle.

Der Unterschied zwischen Abstimmungs- und Konsumverhalten ist nicht nur bei der Gentechnologie relevant, sondern zeigt sich auch in anderen Bereichen der Landwirtschaft. Zum Beispiel spielen beim Abstimmungsverhalten zur Tierhaltung ethische Überlegungen eine wichtige Rolle, während beim Einkauf von Fleisch häufig ökonomische Faktoren stärker gewichtet werden.

DER EINFLUSS VON INTERESSENGRUPPEN

Interessengruppen versuchen, politische Entscheidungen direkt durch Lobbying bei politischen Entscheidungsträgern sowie indirekt über die Massenmedien und damit die öffentliche Meinung zu beeinflussen. Gruppierungen, welche die Gentechnologie befürworten, tun dies vor allem, indem sie auf den wissenschaftlichen Fortschritt und die wirtschaftliche Bedeu-

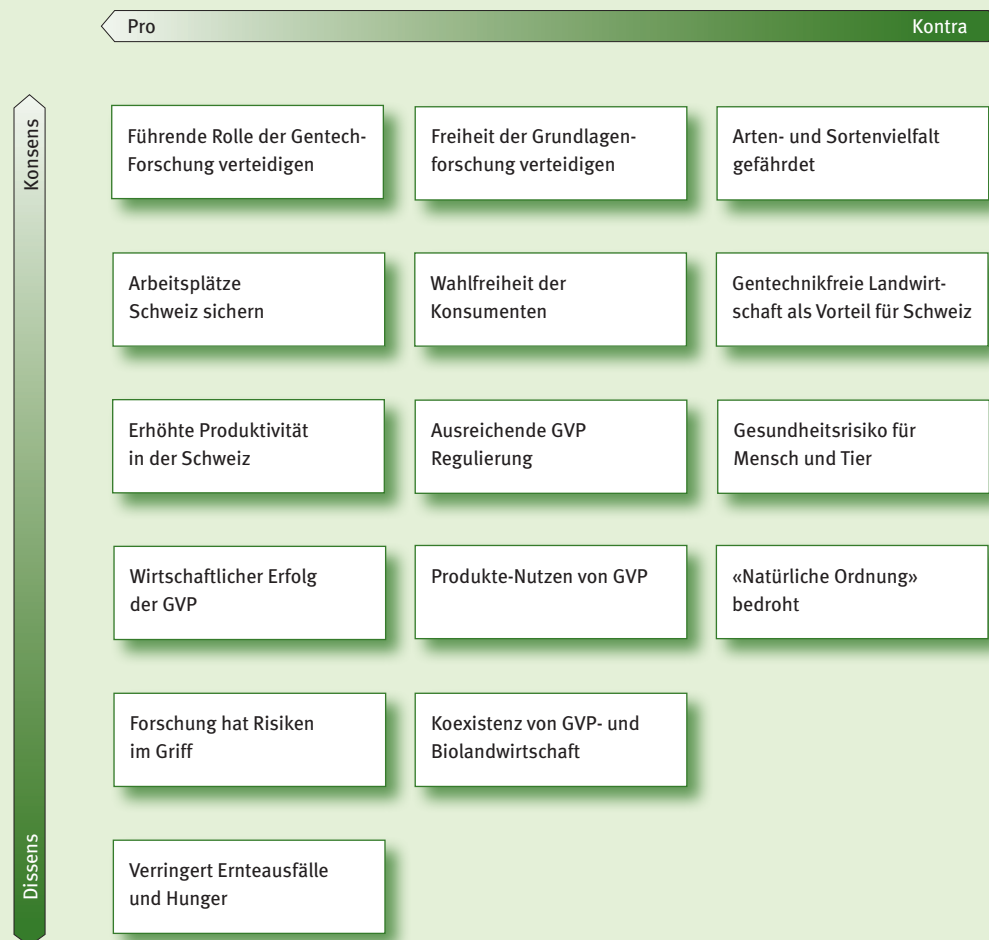
tung der Technologie verweisen. Die Kritiker oder Gegner hingegen heben Umwelt- und Gesundheitsrisiken hervor. Im Projekt *Die Grüne Gentechnologie in der Öffentlichkeit* wur-

den die Aktivitäten beziehungsweise Argumente von Interessengruppen anhand von Interviews und einer Online-Befragung aufgezeigt (Abbildung 3.5).

Der wichtigste Befund dieses Projektes ist, dass der Diskurs zwischen den unterschiedlichen Lagern momentan weitgehend erschöpft ist und eine gewisse Diskursmüdigkeit eingetreten ist. Die Argumente Pro und Kontra sind weitgehend bekannt, die Fronten klar abgesteckt. Diese Fronten verlaufen, wie schon die Vox-Analyse zur Moratoriums-Initiative zeigt, nicht primär entlang dem politischen Links-rechts-Schema – auch wenn diese Trennlinie für die individuelle Meinungsbildung relevant ist. Beispielsweise positioniert sich der Bauernverband

Der Diskurs zwischen den unterschiedlichen Lagern ist momentan weitgehend erschöpft.

Abbildung 3.5: Pro- und Kontra-Argumente



Die Abbildung illustriert die wichtigsten Argumente für und wider gentechnisch veränderte Organismen (GVO). Sie sind nach Pro und Kontra sowie nach Ausmass des Dissenses geordnet. Nach unten nimmt die Ablehnung zu. Lesebeispiel: Das Argument, die Grüne Gentechnik bedrohe die «natürliche Ordnung», wird von Gentechnik-Gegnern vorgebracht, stösst aber auf heftigen Widerspruch seitens der Gentechnik-Befürworter. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

tendenziell eher gentechnikkritisch, während das bürgerliche politische Lager eher gentechnikfreundlich gesinnt ist.^[13]

Die Erschöpfung der Debatte hat allerdings nicht nur damit zu tun, wie der Diskurs an sich geführt wird. Eine wichtigere Rolle spielt, dass in der Schweiz in den kommenden Jahren kein kommerzieller Anbau von GVP in Sicht ist und die Nahrungsmittelindustrie gentechnisch veränderte Produkte weitgehend aus ihren Angeboten verbannt hat.

DIE ROLLE DER MEDIEN

Das Projekt *Die Grüne Gentechnologie in der Öffentlichkeit* hat die Berichterstattung der Massenmedien anhand einer quantitativen Inhaltsanalyse von über 500 Zeitungsartikeln analysiert. Dabei wurden Zeitungen aus der Deutsch- und der Westschweiz berücksichtigt.

Zusätzlich wurde mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse von rund zwanzig Beiträgen von SF DRS sowie Interviews mit Medienschaffenden untersucht.

Die Resultate zeigen, dass die Berichterstattung recht kontinuierlich, insgesamt jedoch eher spärlich ist. Den Höhepunkt erreichte sie im Jahr 2005 (Abstimmung über die Moratoriums-Initiative). Jedoch hat das Moratorium, welches Zeit für eine intensivere Beschäftigung mit den Nutzen und Risiken der Grünen

Gentechnologie hätte schaffen sollen, nicht zu einer intensiveren Diskussion in den Massenmedien geführt. Am häufigsten behandelt die Berichterstattung politische Aspekte, häufig die Moratoriumsfrage, Freisetzungsversuche sowie regulatorische Fragen um die Koexistenz.

Die wichtigsten Interessengruppen mit ihren Pro- und Kontra-Argumenten erhalten einen recht ausgewogenen Zugang zu den Medien. Sowohl Vertreter der Exekutive und Legislative als auch Vertreter der Wissenschaft, NGOs und Bauernorganisationen sind mit ihren Argumenten präsent. Die Agro-Industrie ist erstaunlicherweise weniger präsent. Von 380 ausgewerteten Argumenten in den Massenmedien sind 58 Prozent gentechnikkritisch. Solche Argumente werden vor allem von NGOs und Bauernvertretern artikuliert. Die Agro-Industrie sowie die Mehrheit der Wis-

senschaftler vertreten bei der Gentechnologie befürwortende Argumente. Allerdings ist bei den Wissenschaftlern auch ein beträchtlicher Anteil (27 Prozent) an kritischen Argumenten beobachtbar. Vertreter

der Exekutive (inklusive Bundesämter) äusserten sich zu 40 Prozent eher kritisch, zu 60 Prozent eher positiv zur Grünen Gentechnologie. Bei Parteibeziehungsweise Parlamentsmitgliedern, die in der untersuchten Berichterstattung zu Worte kamen, waren diese Anteile

Die Medien sind schwergewichtig an den politischen und weniger an den naturwissenschaftlichen oder agronomischen Aspekten der Grünen Gentechnik interessiert.

39 Prozent (positiv) und 61 Prozent (kritisch). Die wichtigsten Inhalte betreffen Marktchancen (Verzicht auf Grüne Gentechnologie als Marktvorteil einer kleinräumigen Landwirtschaft), die Praktikabilität (Koexistenz in einer fragmentierten Landwirtschaft), den Forschungsstandort (negative Effekte bei Einschränkung oder Verbot der Grünen Gentechnologie) sowie die Wahlfreiheit der Konsumenten.

Insgesamt erteilt diese Studie der Berichterstattung zur Grünen Gentechnologie in den

Schweizer Medien gute Noten. Die Berichterstattung sei weitgehend differenziert und ausgewogen. Sie sei allerdings schwergewichtig an den politischen und weniger an den naturwissenschaftlichen oder agronomischen Aspekten der Thematik orientiert. Die Medien schlagen sich also nicht auf die eine oder andere Seite der Debatte, sondern scheinen sich eher an der (vermuteten) Stimmung in Politik und Gesellschaft auszurichten. Interviews mit Medienschaffenden zu ihrem Rollenverständnis und ihrer Arbeitsweise bestätigen diesen Befund.

Abbildung 3.6: Die Grüne Gentechnologie in der Öffentlichkeit



Die Berichterstattung zur Grünen Gentechnologie in den Schweizer Medien ist weitgehend differenziert und ausgewogen. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Die befragten Medienschaffenden greifen eher selten zum Instrument des Kommentars, sondern lassen vor allem Vertreter unterschiedlicher Positionen zu Wort kommen. Medienschaffende des Wissenschaftsressorts verfolgen dabei eine teilweise andere Strategie als Medienschaffende des politischen Ressorts. Erstere orientieren sich eher an naturwissenschaftlichen Quellen und vertreten eher eine gentechnikfreundliche Linie, während sich Letztere eher an NGOs und Bauernverbände halten und eher eine gentechnikkritische Linie vertreten.

Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die oft vorgebrachte Behauptung, die Berichterstattung der Massenmedien zur Grünen Gentechnologie sei oberflächlich, reisserisch und negativ, nicht aufrechterhalten lässt.

DIE ROLLE DER SCHULE

Führen mangelnde praktische Erfahrung und mangelndes Wissen dazu, dass die Grüne Gentechnologie auf eine geringe Akzeptanz stösst? Im

Projekt *Gentechnologie im Schulzimmer* wurde untersucht, ob praktische Erfahrungen mit der Grünen Gentechnologie und eine Einführung in Denkmodel-

le der Ethik zu einem anderen Denk- und Argumentationsverhalten in Bezug auf die Gentechnologie führen.

Schüler in der Schweiz haben momentan kaum eine Möglichkeit, direkte Erfahrungen mit der Grünen Gentechnologie zu machen. Weder können sie damit im Labor beziehungsweise Biologieunterricht einer Schule arbeiten, noch sind gentechnisch veränderte Pro-

dukte als Lebensmittel im Detailhandel erhältlich. Unter diesen Bedingungen ist es für Schüler schwierig, sich ein

eigenständiges Urteil über die Grüne Gentechnologie zu bilden.

Deshalb wurde im Projekt *Gentechnologie im Schulzimmer* untersucht, wie sich praktische Erfahrungen mit der Grünen Gentechnologie in Kombination mit mehr Wissen über ethisch-philosophische und sozioökonomische Denkmodelle auswirken. Mögliche Auswirkungen sind ein stärkeres Interesse an der Thematik, mehr Wissen sowie eine grössere Anstrengung, weitverbreitete moralische Urteile kritisch zu hinterfragen und mehr Selbstbestimmtheit im persönlichen moralischen Urteil zu erreichen.

Zu diesem Zweck führte das Forschungsteam Interventionsstudien in zwölf Gymnasialklassen durch. Die Interventionen bestanden darin, Schulklassen im Labor mit gentechnischen Verfahren arbeiten zu lassen und ihnen auch ethisch-philosophische sowie sozioökonomische Denkmodelle zu vermitteln, mit denen sich kontroverse gesellschaftliche Themen diskutieren und letztlich bewerten lassen. Zwei Experimentalgruppen arbeiteten beide zuerst im Labor, eine der beiden erhielt zusätzlich eine Ausbildung in ethisch-philosophischen und sozioökonomischen

Schüler in der Schweiz haben kaum die Möglichkeit, direkte Erfahrungen mit der Grünen Gentechnologie zu machen.

Nach den Interventionen hatten die Schüler mehr Wissen über die Grüne Gentechnologie und eine grössere Auswahl an Argumenten Pro oder Kontra.

Denkmodellen. Eine Kontrollgruppe erhielt weder das eine noch das andere, wurde aber in der folgenden Phase der Interventionsstudie ebenfalls zur Experimentalgruppe. Damit lässt sich ermitteln, wie Schülerinnen und Schüler nach den Interventionen über die Grüne Gentechnologie diskutieren und diese beurteilen.

Der wichtigste Befund der Studie ist, dass die Schülerinnen und Schüler nach den Interventionen mehr Wissen über die Grüne Gentechnologie und ein stärkeres Interesse daran aufweisen und auch eine grössere

Auswahl an Argumenten Pro oder Kontra die Grüne Gentechnologie einsetzen. Ihre grundsätzliche Einstellung gegenüber der Grünen Gentechnologie veränderte sich hingegen nur geringfügig. Dieser Befund entspricht den schon diskutierten Erkenntnissen aus Umfragedaten. Im Gegensatz zur anfänglichen Hypothese der Forscher rückten die beteiligten Schülerinnen und Schüler nach den Interventionen allerdings nur wenig von zuvor teilweise zu einfachen Konzepten bei der Diskussion und Bewertung der Grünen Gentechnologie ab. Die Annahme, solche Interventionen könnten zu einer eigenständigeren moralischen Urteilsbildung beitragen, liess sich also nicht bestätigen. Offensichtlich ist die Haltung Jugendlicher gegenüber der Grünen Gentechnologie relativ resistent gegen die praktische

Erfahrung sowie mehr Wissen über ethisch-philosophische sowie Bewertungsmöglichkeiten. Weshalb dies so sein könnte bleibt vorläufig ungeklärt.

Diese Befunde sind mit Vorsicht zu geniessen, weil das Forschungsprojekt mit erheblichen praktischen Problemen zu kämpfen hatte. Einerseits waren viele Gymnasien aus stundenplantechnischen, oft aber auch ideologischen Gründen nicht bereit, an der Interventionsstudie mitzuwirken. Andererseits erwies es sich als schwierig, den Informationsfluss zwischen Experimental-

und Kontrollgruppen zu kontrollieren – dies führte wohl zu einer gewissen Verwässerung der Interventionseffekte.

DIE ROLLE DER KOMMUNIKATION BEI FELDVERSUCHEN

Das Moratorium wurde eingeführt, um Nutzen und Risiken der Grünen Gentechnologie besser abschätzen zu können. Deshalb wurden im Rahmen des NFP 59 Feldversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen durchgeführt. Diese Freisetzungsversuche wurden in Zürich Reckenholz sowie in Pully realisiert. An beiden Orten kam es zu kleineren Protestkundgebungen im Vorfeld und zu Sachbeschädigungen während des Versuchs. Im Juni 2008 wurde ein Anschlag auf die Freisetzungsversuche in Zürich-Reckenholz

verübt. Im Juni 2009 wurden Behälter mit pflanzentoxischen Flüssigkeiten ins Versuchsfeld in Pully geworfen. Trotz dieser Zwischenfälle verliefen die Freisetzungsversuche insgesamt ruhig. Allerdings bewirkten diese Vorfälle unter anderem, dass pro Franken für die Forschung zusätzlich rund 1,26 Franken für die Absicherung der Versuche sowie die Erfüllung staatlicher Auflagen eingesetzt werden mussten.^[14]

Im Umfeld dieser Versuche untersuchte das Projekt *Fairness, Affekte, Vertrauen und Akzeptanz von GVP*, welche Faktoren einen

positiven Einfluss auf die Akzeptanz von Freisetzungsversuchen mit gentechnisch veränderten Pflanzen haben. Dazu wurden in der Umgebung des Versuchsfeldes Zürich-Reckenholz die Reaktionen der direkt Betroffenen untersucht.

Personen, welche die Lebensmittelindustrie und die Forscher im Bereich der Gentechnologie als ehrlich und besorgt um Gesundheit und Umwelt wahrnahmen, zeigten eine grössere Akzeptanz als Personen mit wenig Vertrauen. Ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Akzeptanz hatte, wie fair der Entscheidungsprozess und auch das Ergebnis der Entscheidung wahrgenommen wurde. Das Gefühl, dass die Bedenken der Öffentlichkeit genügend berücksichtigt worden seien, war wichtig für die Akzeptanz der Versuche. Man könnte

nun meinen, Fairness sei nur für jene Personen wichtig, für welche Gentechnologie kein wichtiges Thema ist. Dies war aber nicht der Fall. Selbst bei Gegnern der Gentechnologie führte ein als fair wahrgenommener Prozess zu einer stärkeren Akzeptanz der Freisetzungsversuche. Dieses Ergebnis unterstreicht die Wichtigkeit einer guten Kommunikationsstrategie.

Information ist aber nicht nur wichtig, damit die Bevölkerung die Entscheide als fair wahrnimmt und Vertrauen in die involvierten Akteure bilden kann, sondern sie ist auch eine

gesetzlich auferlegte Pflicht für die Behörden und die an Freisetzungsversuchen beteiligten Wissenschaftler. Sowohl im Gentechnikgesetz (GTG) als auch in der Freisetzungsverordnung (FrSV) sind zahlreiche Vorschriften und Forderungen zur Kommunikation enthalten. Das Projekt *Konzepte zum Vollzug der öffentlichen Information gemäss GTG* untersuchte, weshalb die gesetzlichen Vorgaben nur mangelhaft umgesetzt werden. Die Analyse der Gesetze und die Befragung von Vertretern aus Verwaltung, Wissenschaft und Kommissionen ergab ein deutliches Ergebnis: Die Informationsaufträge sind zu wenig eindeutig formuliert, zudem werden sie als nicht praktikabel wahrgenommen. Die Autoren der Studie schliessen daraus, dass es zusätzliche rechtliche Vorgaben braucht,

Es braucht zusätzliche rechtliche Vorgaben, um die Kommunikation der Behörden mit der Öffentlichkeit zu verbessern. Gleichzeitig muss aber eine Überregulierung verhindert werden.

um die Kommunikation der Behörden mit der Öffentlichkeit zu verbessern. Gleichzeitig muss aber auch eine Überregulierung verhindert werden. Denn ein erfolgreicher Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit hängt nicht in erster Linie von den gesetzlichen Vorgaben ab, sondern vom Interesse der Bevölkerung und von der Bereitschaft und der Fähigkeit der Wissenschaftler, eine Diskussion mit der Öffentlichkeit zu führen.

EINSTELLUNGEN EUROPÄISCHER KONSUMENTEN ZUR GRÜNEN GENTECHNIK

JOACHIM SCHOLDERER

Seit ihren Ursprüngen hat die Gentechnik für Konflikte gesorgt. In den 1970er-Jahren wurde die Debatte weitgehend innerhalb der Wissenschaft selbst geführt. Erst als in den Achtzigerjahren die ersten Anwendungen Marktreife erlangten, weitete sich die Diskussion auf gesamtgesellschaftliche Kreise aus.

Dies ist auch der Zeitpunkt, an dem die sozialwissenschaftliche Erforschung der Gentechnikakzeptanz begann.^[15] Im Jahr 1985 führten das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag und das niederländische Ministerium für Bildung und Wissenschaft ihre ersten Befragungen durch. Der dänische Technologierat folgte 1987 und das britische Wirtschaftsministerium 1991. Ebenfalls im Jahr 1991 führte die Europäische Union die erste Eurobarometerbefragung zur Biotechnologie durch.

Öffentliche Einstellungen im historischen Verlauf

Den breitesten Überblick zu den Einstellungen europäischer Bürger und Konsumenten zur Gentechnik liefern noch heute die Eurobarometerbefragungen.^[8]

Die seit 1991 im Abstand von jeweils drei Jahren wiederholte Befragung zeigt, dass sich die gesellschaftliche Akzeptanz der Gentechnik durch vier Phasen bewegte.

- In den frühen Neunzigerjahren waren die Einstellungen europäischer Bürger noch weitgehend neutral.
- Die erhitzte öffentliche Diskussion der späten Neunzigerjahre liess die Einstellungen dann zusehends negativer werden.
- In den Jahren des Moratoriums auf Neuzulassungen gentechnisch veränderter Organismen (1999 bis 2004) wurde es relativ still um die Gentechnik und die Einstellungen europäischer Bürger neutralisierten sich wieder.
- Seitdem lässt sich eine Divergenz beobachten. In EU-Mitgliedsstaaten, in denen die Koexistenzdebatte besonders kontrovers geführt wurde (z. B. Deutschland und Österreich) und in Anbauverboten endete, steht die Mehrheit der Bürger der Gentechnik negativ

In EU-Mitgliedsstaaten, in denen die Koexistenzdebatte besonders kontrovers geführt wurde und in Anbauverboten endete, steht die Mehrheit der Bürger der Gentechnik negativ gegenüber.

In EU-Mitgliedsstaaten, in denen die Koexistenzdebatte liberaler ausfiel und gentechnisch veränderte Nutzpflanzen angebaut werden, zeigen sich neutralere, zum Teil sogar mehrheitlich positive Einstellungen.

Abbildung 3.7: «Hergestellt aus gentechnisch veränderten Tomaten»



Sainsbury's bewarb 1996 in Grossbritannien Dosen mit Tomatenpüree aus gentechnisch veränderten Tomaten. Aufgrund grosser Kritik zog der Lebensmittelkonzern das Produkt aus reifverzögerten Tomaten wieder zurück. Seit dem Jahr 2003 gilt in Europa nun die Kennzeichnungspflicht von gentechnisch veränderten Produkten. Erstaunlicherweise hatte diese auf den Absatz der Produkte aber keinen Einfluss. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

gegenüber. In EU-Mitgliedsstaaten, in denen die Koexistenzdebatte liberaler ausfiel (z. B. Spanien) und gentechnisch veränderte Nutzpflanzen weiterhin angebaut werden, zeigen sich hingegen sehr viel neutralere und zum Teil sogar mehrheitlich positive Einstellungen.

Wie ist die Gentechnik im Denken europäischer Bürger repräsentiert?

Detaillierte wissenschaftliche Studien zur Struktur gentechnikkritischer Einstel-

lungen haben gezeigt, dass die Thematik der Gentechnik im Denken europäischer Bürger relativ abstrakt repräsentiert ist. Die meisten Bürgerinnen und Bürger differenzieren nur wenig zwischen verschiedenen Anwendungen. Es ist vielmehr die Gentechnik als solche, die ein diffuses Unbehagen verursacht. Die Technologie wird als unnatürlichen Eingriff in die Integrität von Organismen empfunden.

Kritische Einstellungen zur Gentechnik sind Teil eines vernetzten Systems

allgemeiner fortschrittskritischer Einstellungen: in empirischen Studien zeigen sich durchweg hohe Korrelationen mit Einstellungen zu Umwelt und Natur, zum technologischen Fortschritt und zur Vertrauenswürdigkeit von Akteuren und Institutionen im Bereich der Gentechnik und ihrer Regulierung.^[16]

Wahrgenommene Risiken im engeren Sinne, also zum Beispiel Befürchtungen hinsichtlich Toxizität, Allergenität oder unkontrollierter Ausbreitung gentechnisch veränderter Pflanzen, spielen hingegen nur eine untergeordnete Rolle in den Einstellungen europäischer Bürger.

EINSTELLUNGEN ZUR GENTECHNIK SIND ÄNDERUNGSRESISTENT

Kritische Einstellungen zur Gentechnik haben sich als ausgesprochen resistent gegenüber Versuchen der kommunikativen Einflussnahme erwiesen. Alle bisher durchgeführten Studien, in denen versucht wurde, Einstellungen zur Gentechnik mit Mitteln der Massenkommunikation zu beeinflussen, zeigten keinerlei Effekt.^[17]

Begreift man Einstellungen zur Gentechnik als Teil eines ganzen Systems fortschrittskritischer Einstellungen, ist dies auch nicht weiter verwunderlich: Medienberichterstattung, Werbung, PR-Broschüren oder Podiums-

diskussionen sind als Kommunikationsmittel schlichtweg zu punktuell und oberflächlich, als dass sie die grundlegenden Wertorientierungen von Bürgern nachhaltig beeinflussen könnten.

BÜRGER GLEICH KONSUMENTEN?

Während Gentechnik vor allem als Technologie verstanden wird, sind Produkte, an deren Herstellung Gentechnik in irgendeiner Form beteiligt war, im Denken europäischer Bürger kaum repräsentiert. Daher sollten Einstellungen zur Gentechnik vor allem als Einstellungen zu forschungs- und landwirtschaftspolitischen Positionen verstanden werden und nicht als Einstellungen von Konsumenten zu Produkten.

Dementsprechend zeigen auch ökonometrische Studien, die den Absatz von Produkten mit gentechnisch veränderten Inhaltsstoffen vor und nach der Einführung der Kennzeichnungspflicht verfolgten, keinerlei Effekt.^[18] Lediglich in Produktwahlexperimenten, in denen gentechnisch veränderte Inhaltsstoffe sehr viel prominenter gekennzeichnet wurden als dies nach europäischem Lebensmittelrecht der Fall sein würde, liess sich oft eine verringerte Kaufwahrscheinlichkeit finden.^[19]

Medienberichte, Werbung, PR-Broschüren oder Podiumsdiskussionen sind zu punktuell und oberflächlich, als dass sie die Wertorientierung der Bürger beeinflussen könnten.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Aufgrund der sozialwissenschaftlichen Forschung im NFP 59 lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

1. Es braucht keine zusätzlichen Kommunikationsaktivitäten. Die fehlende Akzeptanz hängt weder mit fehlendem Wissen noch mit einer einseitigen Berichterstattung in den Massenmedien zusammen.
2. Anwendungen der Grünen Gentechnologie, die dem Schweizer Konsumenten einen klar erkennbaren und substantiellen Zusatznutzen liefern, könnten die Akzeptanz der Grünen Gentechnologie erhöhen.
3. Die rechtlichen Vorgaben zur Informationspolitik bei Feldversuchen müssen eindeutiger formuliert werden. So dass Behörden und Wissenschaftler wissen, was und wie sie kommunizieren müssen.

LITERATUR

- [1] Frewer, L. J., Bergmann, K., Meertens, R., Rowe, G., Siegrist, M., Vereijken, C. (2011) Consumer response to novel agri-food technologies: Implications for predicting consumer acceptance of emerging food technologies. *Trends Food Sci Tech* 22, 442-456.
- [2] Slovic, P., Finucane, M. L., Peters, E., MacGregor, D. G. (2004) Risk as analysis and risk as feelings: Some thoughts about affect, reason, risk, and rationality. 24, 311-322.
- [3] Connor, M., Siegrist, M. (2011a) Factors influencing peoples' acceptance of gene technology: The role of knowledge, health concerns, naturalness, and social trust. *Sci Commun*, 32, 514-538.
- [4] Connor, M., Siegrist, M. (2011b) The power of association: Its impact on willingness to buy GM food. *Hum Ecol Risk Assess* 17, 1142-1155.
- [5] Rozin, P. (2006) Naturalness judgments by lay Americans: Process dominates content in judgments of food or water acceptability and naturalness. 1(2), 91-97.
- [6] Aerni, P., Scholderer, J., Ermen, D. (2011) How would Swiss consumers decide if they had freedom of choice? Evidence from a field study with organic, conventional and GM corn bread. *Food Policy*.
- [7] Aerni, P. (2011) Do political attitudes affect consumer choice? Evidence from a large-scale field study with genetically modified bread in Switzerland. 3, 1555-1572.
- [8] Gaskell, G., Stares, S., Allansdottir, A. (2010) Europeans and biotechnology in 2010: Winds of Change? Brussels: European Commission, Directorate General for Research.
- [9] Homepage Bundesamt für Statistik: www.bfs.admin.ch
- [10] GfS. (2005) Wachsender Nein-Anteil zum Arbeitsgesetz, stabiler Ja-Anteil zur gentechfrei-Initiative. Bern.
- [11] Hirter, H., Linder, W. (2005) Analyse der eidgenössischen Abstimmungen vom 27. November 2005. Bern: Universität Bern, Institut für Politikwissenschaft.
- [12] Bonfadelli, H. (2011) Bestandsaufnahme zur (Wissenschafts-) Kommunikation im Bereich Biotechnologie mit Fokus auf Grüne Gentechnik. Gutachten für das Projekt «Kommunikation neuer Technologien: Biotechnologie» der acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- [13] Bonfadelli, H., Meier, W. A. (Hrsg.) (2010) Grüne Gentechnologie im öffentlichen Diskurs. Interessen, Konflikte und Argumente. Konstanz: UVK.
- [14] Bernauer, T., Tribaldos, T., Luginbühl, C., Winzeler, M. (2011) Government regulation and public opposition create high additional costs for field trials with GM crops in Switzerland. *Transgenic Res* 20, 1227-1234.
- [15] Scholderer, J. (2005) The GM foods debate in Europe: History, regulatory solutions, and consumer response research. *J Publ Aff* 5, 263-274.
- [16] Frewer, L. J., Lassen, J., Kettlitz, B., Scholderer, J., Beekman, V., Berdal, K. G. (2004) Societal aspects of genetically modified foods. *Food Chem Toxicol* 42, 1181-1193.
- [17] Scholderer, J., Frewer, L. J. (2003) The biotechnology communication paradox: Experimental evidence and the need for a new strategy. *J Consum Policy* 26, 125-157.
- [18] Marks, L. A., Kalaitzandonakes, N., Vickner, S. (2004) Consumer purchasing behavior toward GM foods in Europe, in: Evenson, R., Santaniello, V. (eds.) *Consumer acceptance of biotech foods* (pp. 23-39). Wallingford: CABI.
- [19] Dannenberg, A. (2009) The dispersion and development of consumer preferences for genetically modified food – A meta-analysis. *Ecol Econ* 68, 2182-2192.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

Irrungen, Wirrungen – die universitäre Ausbildung in den molekularen Pflanzenwissenschaften

Die universitäre Ausbildung ist ein kostbares Gut unserer Gesellschaft, denn das Wohl eines Landes hängt in vielerlei Hinsicht von seinen schlaun Köpfen ab. Darum sollte der Nachwuchs auch nach dem neuesten Stand der Wissenschaft ausgebildet werden. Es gibt keinen Grund, warum dies nicht auch für die molekularen Pflanzenwissenschaften und die Pflanzenbiotechnologie gelten sollte.

In Anbetracht des gesellschaftlichen Konfliktes bezüglich der Anwendung der Pflanzenbiotechnologie darf man sich mit Recht fragen, ob die Schweiz aus den Investitionen in diesen Bildungsbereich auch den angemessenen Nutzen zieht. Um es vorwegzunehmen, heute lautet die Antwort mit wenigen Ausnahmen: nein.

Mit dafür verantwortlich ist eine gesellschaftliche Polarisierung, die auch vor der schulischen Ausbildung nicht halt macht. Betrachte ich, was erstsemestrige Studierende in ihrer bisherigen schulischen Laufbahn über transgene Pflanzen gehört haben, stelle ich fest, dass es ziemlich wenig ist und dazu noch eher Negatives.

Woran liegt das? Zum einen sicher an der Förderung eines gewissen Falschwissens durch das von Umweltorganisationen gern bereitgestellte und

manchmal auch im Unterricht verwendete Informationsmaterial, dessen professionelle Aufmachung mit seinem laienhaften Inhalt kontrastiert. Zum andern auch daran, dass die in diesen Materialien verbreiteten, oft pseudowissenschaftlich begründeten

In grossen Teilen der Öffentlichkeit gehört die Ablehnung pflanzlicher Gentechnologie zum Allgemeinplatz einer politisch korrekten Grundeinstellung.

Halbwahrheiten zur Pflanzenbiotechnologie zum Teil auch von Politikern unterschiedlichster Couleur aufgegriffen werden. Und dass dann deren Stellungnahmen, zum Beispiel in halbherzigen Verurteilungen gewalttätiger Angriffe auf öffentlich finanzierte Feldversuche, eine fatale Signalwirkung haben. Sie tragen dazu bei, dass in grossen Teilen der Öffentlichkeit die Ablehnung pflanzlicher Gentechnologie zum moralisch wie auch vermeintlich wissenschaftlich legitimierten Allgemeinplatz einer politisch korrekten Grundeinstellung gehört.

Christian Hardtke

Direktor des Departements für Molekularbiologie der Pflanzen
Universität Lausanne

Selbst Dozenten geben klein bei

Dieser Umstand bewegt sogar einige meiner Kolleginnen und Kollegen an den Hochschulen dazu, das Thema Pflanzenbiotechnologie tunlichst zu meiden. Was für die Ausbildung bedenklich ist. Wenn ich mir dann als Dozent die Mühe mache, neben dem Vermitteln der biologisch-technologischen Aspekte auch noch Falschinformationen zurechtzurücken, ist das Staunen bei manchen Studierenden gross, die Ungläubigkeit noch grösser. Weshalb? Weil diese Anstrengungen durch einen an den Universitäten grassierenden Relativismus, der einen auf harten experimentellen Fakten basierenden Standpunkt zu einer Meinung unter vielen gleichberechtigten abqualifiziert, zunichte gemacht werden.

So muss man sich dann auch nicht wundern, dass zum Beispiel die Plattform für Wissenschaftskommunikation meiner Universität in einer Ausstellung für das Laienpublikum einen Urheber experimenteller Artefakte zur angeblichen Giftigkeit transgener Pflanzen zum Helden stilisiert. Zusätzliche Verwirrung stiften kritische Wortmeldungen vereinzelter Kollegen, die sich in der Regel in ihrer eigenen Forschung gar nicht mit der Thematik der Pflanzenbiotechnologie befassen. Komplettiert wird die Kakophonie durch Versuche von Geisteswissenschaftlern, die Deutungshoheit über naturwissenschaftliche Erkenntnisse zu erlangen. Allgemein fällt dabei auf, dass aktive Pflanzenwissenschaftler nur selten konsultiert werden, wodurch der aus wissenschaftlicher Sicht nötige

Bedarf an sachlicher und präziser Diskussion der vielfältigen Anwendungen pflanzlicher Gentechnik und berechtigter sozioökonomischer Gesichtspunkte schlicht auf der Strecke bleibt.

Die Studierenden reagieren

Natürlich bleibt dieser öffentliche Dissens und das Misstrauen, das den Pflanzenwissenschaftlern entgegen schlägt, den schweizerischen Studierenden nicht verborgen. Darum kann man es ihnen auch nicht verdenken, dass sie sich nach dem Grundstudium für die weiterführenden Abschlüsse oft anderen Unterdisziplinen der Biologie zuwenden. Was dazu führt, dass die Pflanzenbiologie hauptsächlich nur solche einheimische Studierende rekrutieren kann, die ein besonderes Interesse an den Grundlagen der Genetik oder Entwicklungsbiologie haben. Gleichzeitig aber ist der Andrang ausländischer Studenten ungebrochen. Denn erstaunlicherweise gehört die schweizerische Pflanzengrundlagenforschung und in Einzelfällen auch die Pflanzenbiotechnologie trotz allem immer noch zur Weltspitze. Man darf sich aber berechtigterweise fragen, ob dies in ein, zwei Studiengenerationen immer noch der Fall sein wird.

Verlust an Kompetenz

Ich persönlich befürchte, dass nicht nur die angewandte Pflanzenforschung, sondern auch die Grundlagenforschung nach und nach in Mitleidenschaft gezogen wird. Zwar besitzt die Schweizer Pflanzen-

«Ob es sich . . . um visionäre Ingenieure, kluge Erfinder . . . oder tüchtige Wissenschaftler . . . handelt: Zu viele sind aus zu nichtigen Gründen diesem Land verloren gegangen.»

Markus Spillmann

Leitartikel Neue Zürcher Zeitung vom 13.01.2012

grundlagenforschung momentan noch hohe Anziehungskraft, aber sie muss sich auch weiterhin im internationalen Wettbewerb um die grössten schweizerischen und ausländischen Talente be-

weisen. Dies wird jedoch zunehmend schwierig werden, weil Nationen wie die USA, China oder auch vereinzelt europäische Länder die molekularen Pflanzenwissenschaften inklusive ihrer Anwendung offensiv weiterentwickeln.

Das Zurückfallen der Schweiz auf diesem Gebiet wird noch verstärkt, weil bis auf wenige Ausnahmen eine

Verbindung zum angewandten Bereich fehlt. Während die Zusammenarbeit mit der Industrie in anderen Disziplinen explizit gefördert und gefordert wird, ist für die schweizerische Pflanzenforschung das Gegenteil der Fall.

Zu wenige fachspezifische Arbeitsplätze

Dies schlägt sich in den beruflichen Perspektiven nieder. Zwar sind alle der knapp 40 Doktoranden und Postdoktoranden, die in den letzten sieben Jahren in unserer Abteilung in Lausanne ausgebildet wurden, problemlos in stabilen Arbeitsverhältnissen untergekommen – etwa die Hälfte im öffentlichen Dienst, die

andere Hälfte in der Industrie. Wer aber im Beruf direkt mit Pflanzenbiotechnologie zu tun haben wollte, für den war die Stellenauswahl in der Schweiz

begrenzt. Konkret: Von dem guten Viertel unserer Absolventen, die heute in der schweizerischen Industrie tätig sind, haben nur zwei mit Pflanzenbiotechnologie zu tun. Im Gegensatz dazu ist dies für praktisch das gesamte Viertel unserer Absolventen der Fall, das in der ausländischen Industrie arbeitet.

Dies ist als Folge der Abwanderung der modernen Agrarindustrie ins Ausland im Zuge der Ablehnung von Pflanzenbiotechnologie zu verstehen. Ein Umstand, der in hohem Mass alarmierend ist.

Alte Diskussion, neue Herausforderung

Alarmierend ist auch, dass hierzulande noch über den Nutzen von transgenen Pflanzen diskutiert wird, welche vor bald 30 Jahren geschaffen wurden, während sich die dahinterstehende Technologie andernorts gewaltig weiterentwickelt hat. Zum Beispiel ermöglichen unterdessen das präzise Einfügen minimierter Transgene oder die gezielte Erzeugung wünschenswerter Mutationen mithilfe transgener Zwischenstufen eine effektive Nutzung der natürlichen genetischen Vielfalt für die Verbesserung und Anpassung bewährter Kulturpflanzensorten. Jedoch verwundert es nicht, dass die Beiträge der Schweiz zu dieser neuen Entwicklung begrenzt sind. Die For-

schung fällt auf diesem Gebiet langsam, aber sicher zurück, die Lehre greift bis auf wenige Ausnahmen die neuesten Techniken nicht mehr auf, die Fachkompetenz wandert ab. So begibt sich die Schweiz in eine vollkommene Abhän-

gigkeit: einerseits hinsichtlich der weltweiten Nahrungsmittelproduktion, andererseits auch hinsichtlich der Evaluierung biotechnologischer Produkte.

Wer im Beruf direkt mit Pflanzenbiotechnologie zu tun haben will, für den ist die Stellenauswahl in der Schweiz begrenzt.

Dabei scheint es mir wichtig, zu erwähnen, dass sich dies auch explizit auf die Zukunftschancen nicht transgener biotechnologischer Produkte auswirken wird. Die Frage ist, ob wir uns das leisten können.

Meine Antwort ist eindeutig: nein. Denn das globale Bevölkerungswachstum rückt die Sicherheit der Nahrungsmittelversorgung zurück ins Zentrum gesellschaftlicher Prioritäten. Dabei muss die Landwirtschaft intensiver, aber auch nachhaltiger werden, was wohl nur unter Einbezug aller Methoden – auch gentechnologischer – möglich sein wird. Um diese Herausforderung zu meistern, ist talentierter Nachwuchs nötig, der sich meines Erachtens aber nur für diese Thematik begeistern lässt, wenn wir dem gesellschaftlichen Trend zu ideologisch motivierter vermeintlicher Nachhaltigkeit die Gefolgschaft verweigern. Wir müssen die Studierenden in eine tabulose Diskussion über die besten Lösungsansätze unter explizitem Einbezug biotechnologischer Möglichkeiten einbeziehen und gleichzeitig in interdisziplinärer Lehre mehr Wert auf den kulturhistorischen Hintergrund legen. Das heisst, wir müssen zum Beispiel auch vermitteln, dass Kulturpflanzen grundsätzlich «unnatürlich» sind, weil sie seit Jahrtausenden genetisch selektiert wurden; oder dass die derzeitige Lebensmittelversorgung der Schweiz ohne massive Importe im Umfang ihrer eigenen Anbaufläche gar nicht möglich ist.

Schliesslich ist es notwendig, die ganze Bandbreite der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung in den Pflanzenwissenschaften zu stärken, um die Fachkompetenz im Land zu halten und auszubauen. Nur so lässt sich ihre Attraktivität für Studierende wieder erhöhen und sicherstellen, dass ausreichend hervorragendes Personal sowohl für den öffentlichen als auch den privaten Bereich zur Verfügung stehen wird.

4. Zukunft



4.1 Erfahrungen mit den Feldversuchen im Rahmen des NFP 59

Die im Rahmen des NFP 59 von einem Konsortium aus elf Forschungsgruppen durchgeführten Freilandexperimente waren die bisher grössten Feldversuche in der Schweiz mit gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP). Die Forschenden untersuchten transgenen Weizen an zwei Standorten während drei Jahren (2008 bis 2010). Hohe Ansprüche an alle Beteiligten stellten dabei die Kommunikation, Logistik und technische Durchführung sowie das rechtliche Verfahren und die Fragen zu Schutz und Sicherheit der Versuche. Basierend auf ihren Erfahrungen mit diesen Forschungsprojekten drängen sich für zukünftige Feldversuche mit GVP Verbesserungen der Rahmenbedingungen auf.

BEAT KELLER

RAHMENBEDINGUNGEN DES FORSCHUNGSPROJEKTS

Das heute geltende Gentechnikgesetz (GTG) trat im Jahr 2004 in Kraft. Darauf gestützt wurde die überarbeitete Freisetzungsverordnung (FrSV) erlassen. Die Feldversuche mit gentechnisch veränderten Weizen im Rahmen des NFP 59 waren die ersten und bisher einzigen Experimente, die von Beginn an unter dem GTG durchgeführt wurden. Damit stellen sie ein wichtiges Fallbeispiel dar.

Die Forschenden untersuchten transgenen Weizen, der im Gewächshaus eine erhöhte Resistenz gegen Mehltau gezeigt hatte, auf seinen umweltspezifischen Nutzen und seine Risiken hin.^[1] Sie führten ihre Studien in acht koordinierten Einzelprojekten an zwei Standorten durch. Am Standort Zürich-Reckenholz lief der Versuch während drei Jahren. Am Standort Pully waren es infolge Verzögerungen durch Einsprachen nur zwei Jahre.

Auch wenn seit der Inkraftsetzung des GTG diese Versuche die bisher einzigen Feldversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen in der Schweiz geblieben sind, haben in dieser Zeitspanne verschiedene Schweizer Forschungsgruppen Versuche durchgeführt: und zwar im Ausland.

Es sind vor allem zwei Problemkreise, welche in der Schweiz Feldversuche mit GVP erschweren:

1. Das **Bewilligungsverfahren** ist sehr zeit- und kostenaufwendig. Grund dafür ist, dass die Bewilligungsbehörde

bisher den Kreis derjenigen Personen, denen als potenziell Betroffene Parteistellung im Verfahren gewährt wird, sehr weit gezogen hat. So können Parteien auch mit schwach begründeten Einsprachen und Beschwerden das Bewilligungsverfahren erheblich verzögern. Dies erschwert die für Forschungsprojekte wichtige Plan-

barkeit, was gravierende Folgen haben kann; denn in der Regel sind Projekte zeitlich begrenzt (z. B. auf drei Jahre beim Schweizerischen Nationalfonds).

2. Auch die **Kosten** für den eigentlichen Freisetzungsversuch sind insgesamt enorm hoch. Zu den Aufwendungen für die Gesuchseingabe und die juristische Unterstützung im Bewilligungs-, Einsprache- und Beschwerdeverfahren kommen die Kosten für die Erfüllung der behördlichen Sicherheitsauflagen sowie die Versuchssicherung gegen Vandalenakte hinzu.

PLANUNG UND MANAGEMENT DER FELDVERSUCHE

Die Leitungsgruppe des NFP 59 hat bei der Ausschreibung des Programms festgehalten, dass der enge Zeitrahmen des Programms keine Neuentwicklung von GVP erlaube und zudem Versuche mit bereits entwickelten GVP die Zusammenarbeit

Schweizer Forschungsgruppen haben seit Inkrafttreten des Gentechnikgesetzes im Jahr 2004 diverse Versuche mit GVP im Ausland durchgeführt.

verschiedener Forschungsgruppen förderten. Bei der Suche nach GVP für mögliche Projekte im NFP 59 haben mehrere Forschungsgruppen die Erfahrung gemacht, dass Unternehmen, welche gentechnisch veränderte Sorten im Ausland verkaufen, wenig Interesse haben, ihr Material für Forschungsprojekte in der Schweiz – mit geltendem Gentechnik-Moratorium – zur Ver-

fügung zu stellen. Somit kamen nur GVP infrage, die in der öffentlichen Grundlagenforschung entwickelt worden waren. So wurde für die Feldversuche schliesslich transgener Weizen der Universität Zürich

und der ETH Zürich gewählt, der im Gewächshaus eine verbesserte Krankheitsresistenz gegen Mehltau gezeigt hatte.

Elf Forschungsgruppen haben sich unter dem Namen Konsortium Weizen zu einem Verbundprojekt zusammengeschlossen, welches das Ziel hatte, möglichst umfassend sowohl agronomische Eigenschaften als auch potenzielle Einflüsse des transgenen Weizens auf die Umwelt zu untersuchen. Die Bildung eines Konsortiums war nicht nur forschungstechnisch sinnvoll, sondern aufgrund äusserer Faktoren sogar notwendig. Denn der Aufwand für das gesetzliche Bewilligungsverfahren, die Versuchssicherheit und für Kommunikation hätte die Kapazitäten einer einzelnen Forschungsgruppe bei Weitem überstiegen.

Der Aufwand für das gesetzliche Bewilligungsverfahren, die Versuchssicherheit und für Kommunikation hätte die Kapazitäten einer einzelnen Forschungsgruppe bei Weitem überstiegen.

Im Konsortium Weizen mit einem leitenden Ausschuss von fünf Personen, unterstützt von 230 Stellenprozenten für technische und wissenschaftliche Koordination, konnte der Projektaufwand sinnvoll verteilt werden. Die Aufgabe des Ausschusses bestand neben der eigentlichen Leitung des Konsortiums darin, die Koordination der wissenschaft-

lichen Arbeiten sowie die Kommunikation an den beiden Versuchsstandorten sicherzustellen und das Konsortium nach aussen zu vertreten.

Beim Auswahlprozess der Standorte für die Versuche wurde klar, dass die Versuche am besten an Forschungsinstitutionen von Agroscope, der öffentlichen landwirtschaftlichen Forschung in der Schweiz, durchgeführt werden konnten. Da die Versuchsstandorte zudem in der Nähe der Universitäten und der ETH liegen sollten, fiel die Wahl auf die Agroscope-Standorte Zürich-Reckenholz und Pully. Früh im Planungsprozess informierte das Konsortium unter der Leitung von Agroscope die Nachbarn über das Vorhaben.

BEWILLIGUNGSVERFAHREN

Um der strukturellen und biologischen Komplexität des Versuchs gerecht zu werden, hat das Konsortium Weizen auf

Vorschlag des Bundesamts für Umwelt (Bafu) als Bewilligungsbehörde drei getrennte Gesuche eingereicht.

Die dreijährige Versuchsdauer, die zwei Standorte und die unterschiedlichen Versuchspflanzen machten die Gesuchsvorbereitungen komplex. So nahm die Erstellung der Dossiers zur Gesuchseingabe insgesamt etwa ein Personenjahr in Anspruch. Dazu kamen Laborarbeiten zur Charakterisierung der Pflanzen vor der Gesuchseingabe.

Nach Gesuchseingabe am 16. April 2007 haben das Bafu als Leitbehörde, die weiteren involvierten Bundesämter (BVET¹, BAG², BLW³), die kantonalen Ämter (Kantone Zürich und Waadt) sowie die beiden beteiligten Eidgenössischen Fachkommissionen (EKAH⁴, EFBS⁵) zum Teil umfangreiche weitere Informationen eingefordert. Zudem mussten die Forschenden zu zahlreichen Einsprachen Stellung nehmen. Schliesslich

bewilligte das Bafu am 3. September 2007 die Gesuche und die Versuche mit einigen Auflagen und Bedingungen für drei Jahre.

Weil das Bafu in der Folge die rechtliche Situation jedes Jahr mit zusätzlichen Verfügungen aktualisierte, entstand ein

sehr enges Geflecht von Vorschriften, welche die Vorbereitung, Durchführung und Nachkontrolle der Versuche betrafen.

Gegen die Versuche am Standort Zürich-Reckenholz gab es nur zwei, gegen diejenigen in Pully hingegen 27 Einsprachen. Das Bafu erteilte aufgrund geografischer (Einsprechende müssen im Umkreis von 1'000 Metern des Versuchsfeldes wohnhaft

sein) und weiterer Ausschlusskriterien (kein ideelles Verbandsbeschwerderecht) sechs Parteien im Raum Pully das Parteistellungsrecht, wobei die Distanz von 1'000 Metern nicht wissenschaftlich begründet ist. Bei seinem

Entscheid hat das Bafu die Gentechnologie als «neue Technologie mit schwer absehbaren Gefahren» eingeordnet und die «besondere Betroffenheit»

als Voraussetzung einer Parteistellung sehr weit interpretiert. Dieses Vorgehen stützte sich auf eine Formulierung in einem Bundesgerichtsurteil aus dem Jahr 2003.

Allerdings vertritt das

Konsortium Weizen die Auffassung, dass nach zehn weiteren Jahren Erfahrungen mit der Gentechnik bei Pflanzen jetzt eine Neueinschätzung sowohl der «schwer absehbaren Gefahren» als auch der «besonderen Betroffenheit» nötig ist.

Nach Gesuchseingabe haben die involvierten Ämter und Kommissionen umfangreiche weitere Informationen eingefordert. Zudem mussten die Forschenden zu zahlreichen Einsprachen Stellung nehmen.

Die Einschätzung des Bafu, die Gentechnologie als «neue Technologie mit schwer absehbaren Gefahren» zu beurteilen, ist zu überdenken.

Die beschwerdeberechtigten Parteien in Pully machten von ihrer Parteistellung Gebrauch und fochten nach der Ablehnung ihrer Einsprachen durch das Bafu die Bewilligung des Feldversuchs vor dem Bundesverwaltungsgericht an. Dieses wies eine Beschwerde im November 2008 vollumfänglich ab und die Feldversuche durften mit einem Jahr Verzögerung auch in Pully durchgeführt werden. Allerdings äusserte sich das Ge-

richt nicht dazu, ob die Distanz von 1'000 Metern ein sinnvolles Kriterium für die Parteistellung darstellt. Falls dieser Umkreis in Zukunft aufrechterhalten wird, ist abzusehen,

dass Freisetzungsversuche stets mit Einsprachen eingedeckt werden, denn die Versuchsstandorte der landwirtschaftlichen Forschungsinstitutionen liegen alle in Agglomerationsgebieten mit Nachbarn im Umkreis von 1'000 Metern.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die hohe Komplexität

des Verfahrens eine professionelle juristische Unterstützung der Gesuchsteller nötig machte. Die juristischen Verfahren, allen voran das Beschwerdeverfahren, verursachten hohe Kosten, die auf mangelnde Rechtspraxis, vage Formulierungen

im Gentechnikgesetz sowie auf extensive Gewährung der Parteistellung von Nachbarn zurückzuführen sind.

KOMMUNIKATION

Neben der durch das GTG geforderten Kommunikation mit Anliegern und Standortgemeinden während des Bewilligungsverfahrens stellte vor allem die

Kommunikation während des Versuchs eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Das Konsortium Weizen hatte dafür eigens zwei Teilzeitstellen geschaffen.

Zwischen der Veröffentlichung des Bewilligungsgesuchs und dem Ende der ersten Feldsaison war das Medieninteresse sehr gross und äusserte sich in rund 200 Bei-

trägen über die Feldversuche und 26 Interviews. Ähnlich viele Artikel und Interviews erschienen in der Romandie im Folgejahr, dem ersten Versuchsjahr in Pully. Eine erhöhte Medienpräsenz

mit insgesamt rund 40 Interviews gab es auch bei Bekanntgaben von Resultaten gegen Projektende.

Um das Verständnis für die Forschungsversuche und ihren Hintergrund zu fördern, hat das Konsortium Weizen

Es ist abzusehen, dass Freisetzungsversuche stets mit Einsprachen eingedeckt werden, falls der Umkreis von 1'000 Metern für die Parteistellung aufrechterhalten wird.

Das Interesse der allgemeinen Öffentlichkeit war mit insgesamt nur 80 Teilnehmenden an öffentlichen Führungen in drei Jahren geringer als erwartet.

auf seiner Homepage neben den direkten Medienkontakten in allen drei Versuchsjahren auch diverse Aktivitäten angeboten und Materialien spezifisch für verschiedene Zielgruppen entwickelt:

- Website www.konsortium-weizen.ch;
- 20 Medienmitteilungen bei Schlüsselereignissen wie Versuchsbewilligung, Aussaat, Ernte und der Veröffentlichung von Publikationen (zusammen mit der Leitung des NFP 59);
- rund 80 Feldführungen mit insgesamt 1'325 Personen für Schulklassen und andere interessierte Gruppen sowie öffentliche Führungen;
- öffentliche Ausstellung auf dem Gelände von Agroscope, Demonstrationsplots neben dem Versuchsfeld;
- Vorbereitung von Material für Schulen;
- Organisation und Durchführung von zwei öffentlichen Tagungen mit jeweils zirka 200 Teilnehmenden.

Das Interesse der allgemeinen Öffentlichkeit war mit insgesamt 80 Teilnehmenden an öffentlichen Führungen in den drei Jahren geringer als vom Konsortium erwartet.

Hingegen gab es in allen drei Versuchsjahren grosses Interesse bei Vertretern von Forschung, Schulen, Politik, Verwaltung und Industrie. Für diese Besucher hat das Konsortium meist eigens auf sie abgestimmte Führungen veranstaltet. Neben

diesen Kommunikationstätigkeiten war das Konsortium zeitweise stark gefordert, auf Eingaben und Postulate im Gemeinderat der Stadt Zürich, in den kantonalen Parlamenten in Zürich und Waadt sowie auf eidgenössischer Ebene zu reagieren. Diese Vorstösse bezeichneten die Versuche mehr oder weniger deutlich als nutzlos und gefährlich und forderten deren Abbruch beziehungsweise die Ablehnung einer Bewilligung. Entsprechend zeitintensiv war es für die Forscher, auf die verschiedenen Kritikpunkte, Fragen und Befürchtungen einzugehen, Hintergründe zu klären und dies in ausführlichen schriftlichen Stellungnahmen festzuhalten.

BIOLOGISCHE SICHERHEIT UND SICHERUNG DES VERSUCHS

Für den Versuch wurde eine ganze Reihe von Biosicherheitsmassnahmen getroffen mit dem Ziel, jedes Auftreten von gentechnisch verändertem Weizen ausserhalb des bezeichneten Versuchsgeländes zu vermeiden. Die Antrag-

steller des Konsortiums Weizen hatten diese Massnahmen entweder bereits in ihrem Freisetzungsgesuch vorgeschlagen oder aber das Bafu schrieb sie in der Bewilligung vor.

Die Umsetzung dieser Vorkehrungen überprüfte eine vom Bafu eingesetzte Begleitgruppe regelmässig und hatte

Bis heute hat das Monitoring durch das Konsortium keine gentechnisch veränderten Pflanzen ausserhalb des Versuchsfelds nachgewiesen.

Viele auferlegte Massnahmen hatten einen enormen Arbeitsaufwand zur Folge, trugen aber weder zur Biosicherheit bei noch führten sie zu Erkenntnissen, die nicht schon bekannt waren.

keine Beanstandungen. Bis heute hat das Monitoring durch das Konsortium keine gentechnisch veränderten Pflanzen ausserhalb des Versuchsfelds nach-

gewiesen. Somit kann geschlossen werden, dass die Vorkehrungen zur Verhinderung einer Verbreitung der GVP erfolgreich waren. Allerdings waren sie auch enorm aufwendig. Deshalb, stellten die Mitglieder des Konsor-

tiums in ihrem Schlussbericht an die Bewilligungsbehörde die Frage, ob bei allen Massnahmen die Verhältnismässigkeit gegeben war. Nach den drei Versuchsjahren kamen sie zur Einschätzung, dass folgende Vorkehrungen ausreichen, um die biologische Sicherheit eines solchen Versuchs mit Weizen zu gewährleisten:

- Schulung aller am Versuch beteiligten Personen (insgesamt mehr als 220 Personen);
- Erstellung eines Notfallplanes als Vorbereitung für ausserordentliche Ereignisse (wie z. B. starke Niederschläge nach der Saat);
- Mantelsaat (2 bis 3 Meter breit) und Abstand von 5 Metern zu den nächsten Weizenfeldern;
- Schutz des Versuchsfeldes vor Vogelfrass;
- Einzäunung des Versuchsgeländes, um das Eindringen von unbefugten Personen oder Tieren zu verhindern;

- gründliche Reinigung der verwendeten Maschinen nach der Saat;
- Sicherheitsmassnahmen beim Transport von vermehrungsfähigem gentechnisch verändertem Pflanzenmaterial;
- Beschriftung aller Pflanzenproben, wo notwendig, mit der Aufschrift «gentechnisch verändert».

Folgende Massnahmen hatten einen Aufwand von insgesamt mehr als einem Arbeitsmonat zur Folge, trugen aber weder zur Biosicherheit bei noch führten sie zu Erkenntnissen, die nicht schon aus der wissenschaftlichen Literatur bekannt waren:

- Messung von Auskreuzung auf Empfängerpflanzen, deren Samen für Lebensmittelzwecke verwendet werden, mit Stichproben aus Mantelsaat und Umgebung von 200 Metern;
- Feststellung und Meldung aller Getreidekulturen bis 500 Meter Entfernung ans Bafu und Erhebung des Blühverlaufs;
- Ernte von Hand;
- Ernte und Vernichtung der Mantelsaat in der Kehrlichtverbrennungsanlage.

Zudem gab es eine Reihe von Massnahmen, die einen Aufwand von einer bis vier Wochen Arbeitszeit verursachten, aber wenig oder nichts zur Biosicherheit beitrugen. Eine detaillierte Analyse der Massnahmen und ihrer Wirkung wurde zuhänden der Begleitgruppe des Bafu erstellt.

Abbildung 4.1: Enorme Kosten wegen Sicherheitsmassnahmen



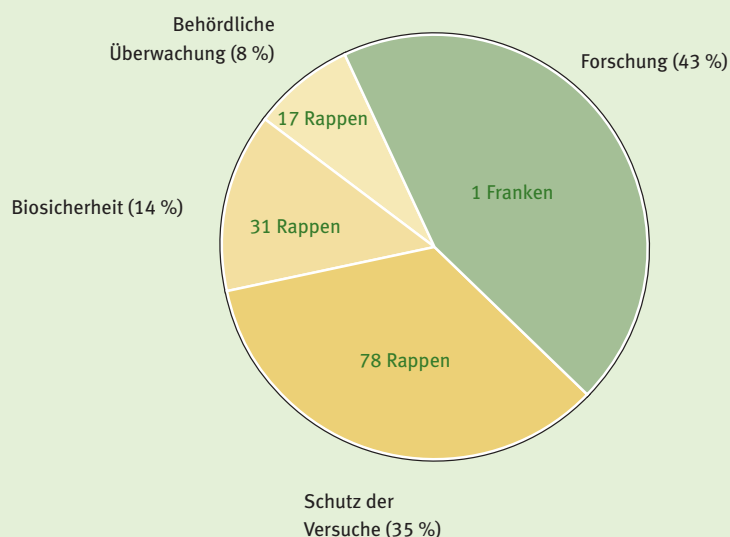
Die Feldversuche mit transgenem Weizen sorgten für Proteste, wie zum Beispiel eine friedliche Demonstration von «Greenpeace» vor dem Versuchsfeld (Bild links). Weil es an beiden Standorten aber auch zu Vandalenakten kam, mussten die Sicherheitsvorkehrungen massiv verstärkt werden, was enorme Kosten verursachte. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

VANDALISMUS

Es gab drei Zerstörungsaktionen gegen die Feldversuche. Jedoch kam es in keinem der Fälle bis heute (23. Januar 2012) zu Anklagen oder Urteilen durch die Staatsanwaltschaft oder Gerichte. Die Zerstörungsaktion durch Vandalen am 13. Juni 2008 in Zürich-Reckenholz verursachte einen Schaden von mehreren 100'000 Franken und vernichtete in verschiedenen Forschungsprojekten ein ganzes Jahr an Ergebnissen. Die beiden Aktionen in Pully verursachten nur kleine

Schäden an Versuchspartzen und ausser der Kontaminierung eines kleinen Areals mit zirka zehn Litern Chemikalien keine Sachschäden. In den Jahren 2009 und 2010 wurde deshalb die Versuchssicherung verstärkt durch eine 24-Stunden-Bewachung, eine erhöhte Überwachung mit Kameras, Bewegungsmelder, einen doppelten Zaun und ein schnelles Alarmierungssystem. Alle diese Massnahmen führten zu einer wesentlichen Zunahme der Sicherheitskosten, die durch einen Spezialkredit des NFP 59 gedeckt werden mussten.

Abbildung 4.2: Kostenanteile bei Feldversuchen



Anteil der Kosten für Forschung, Schutz der Versuche, Biosicherheit und die behördliche Überwachung an den Gesamtausgaben für die Feldversuche des Konsortiums Weizen. Für jeden in die Forschung investierten Franken wurden zusätzlich 78 Rappen für den Schutz vor Vandalismus, 31 Rappen für die Biosicherheit und 17 Rappen für die behördliche Überwachung aufgewendet. Die Biosicherheitskosten entstanden mehrheitlich aufgrund der Auflagen des Bafu, die nicht von den Gesuchstellern vorgeschlagen wurden.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

KOSTEN FÜR SICHERHEIT UND RECHTSVERFAHREN

Neben den eigentlichen Kosten für die Forschungsprojekte haben die Feldversuche mit GVP in drei Bereichen zu zusätzlichem Aufwand geführt, der in normalen Projekten der biologischen und agronomischen Forschung nicht anfällt:

- Kosten für die Gesuchsvorbereitung: 300'000 Franken;
- Rechtskosten im Bewilligungsverfahren: 150'000 Franken;
- Kosten für die biologische Sicherheit sowie die Sicherung des Versuchs vor Zerstörungsaktionen: 2'127'000 Franken.

Weitere Kosten entstanden durch das in der Freisetzungsbewilligung bis mindestens 2012 verordnete Monitoring der Versuchsflächen. Es dauert also weit über die eigentlichen Versuche hinaus. Diese Kosten sind nicht durch die Projektkredite gedeckt.

Eine detaillierte Kostenanalyse der Feldversuche wurde publiziert.^[2] Diese Analyse zeigt auf, dass für jeden Franken, der für die eigentlichen Forschungsprojekte ausgegeben wurde, weitere 1,26 Franken für die Versuchssicherung, die biologische Sicherheit und das Bewilligungsverfahren (inkl. der Arbeit der Bewilligungsbehörde) anfielen (siehe Abbildung 4.2).

NOTWENDIGKEIT FÜR GESCHÜTZTE VERSUCHSSTANDORTE

Die insgesamt drei Zerstörungsaktionen gegen die Weizenfeldversuche im NFP 59 zeigen, dass der Sicherung solcher Versuche vor Zerstörungsaktionen eine hohe Priorität eingeräumt werden muss. Die Sicherheitsmassnahmen, die im Jahr 2009 und 2010 erfolgreich waren, stellen den notwendigen Standard für die störungsfreie Durchführung von zukünftigen Feldversuchen mit GVP dar. Damit können auch die Kosten für zukünftige Projekte relativ genau abgeschätzt werden, was im Vorfeld des NFP 59 noch nicht möglich war. Diese Kosten übersteigen die durchschnittlichen Forschungsbudgets bei Forschungsprojekten im biologischen und agronomischen Bereich deutlich.

Deshalb ist aus den Konsortiumsarbeiten heraus der Vorschlag entstanden, dass der Bund für Feldversuche mit GVP sogenannte Protected Sites, also geschützte Versuchsstandorte, als Basisinfrastruktur für die Schweizer Pflanzenforschung zur Verfügung stellen sollte, um diese Forschungsrichtung

**Zu jedem Franken für die
eigentlichen Forschungsprojekte
kamen weitere 1,26 Franken
für die Versuchssicherung,
die biologische Sicherheit und
das Bewilligungsverfahren hinzu.**

**Geschützte Standorte für
Feldversuche mit GVP erhalten
die Schweizer Pflanzenforschung,
den Erkenntnisgewinn und nicht
zuletzt die Kompetenz für
künftiges Monitoring.**

und den damit verbundenen Erkenntnisgewinn in der Schweiz zu erhalten. Diese Forschungsinfrastruktur würde die Versuchssicherung durch technische Massnahmen (Zaun, Bewachung, Überwachung, Alarm), die Umsetzung der Massnahmen für die biologische

Sicherheit der Umwelt und auch das Zurverfügungstellen einer agronomischen Betreuung umfassen. Gemäss den Berechnungen des Konsortiums Weizen muss für eine Protected Site für einen Versuchsbetrieb von sechs Monaten für Ackerpflanzen wie Sommergetreide, Zuckerrübe, Mais oder Kartoffeln mit Kosten von zirka 500'000 Franken (770'000 für einen ganzjährigen

Versuchsbetrieb) pro Versuchsjahr gerechnet werden. Dazu kommen einmalige Kosten für die Erstellung einer Protected Site in der Höhe von zirka 400'000 Franken. Die Schaffung von Protected Sites würde die Forschungsbudgets von Projekten mit Feldversuchen massiv entlasten und zumindest innerhalb Europas einen Standortvorteil bringen.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Unter den gegenwärtig geltenden Bedingungen gemäss Gentechnikgesetz und Freisetzungsverordnung sowie der üblichen Art der Finanzierung von Forschungsprojekten in der Schweiz ist davon auszugehen, dass nach Abschluss des NFP 59 im Rahmen der öffentlichen Forschung keine Feldversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen mehr durchgeführt werden. Um den Fortbestand dieses Forschungsgebiets zu ermöglichen, sind Änderungen in Reglementierung und Praxis nötig:

1. **Vereinfachtes Bewilligungsverfahren:** Das rechtliche Bewilligungsverfahren muss vereinfacht werden. Dazu gehört die Möglichkeit einer Rahmenbewilligung.^[3]
2. **Eingegrenzte Einsprachemöglichkeiten:** Es müssen Wege gefunden werden, um zu verhindern, dass offensichtlich unbegründete Beschwerden wissenschaftliche Forschungsvorhaben um Jahre verzögern können.
3. **Kulturspezifische Auflagen:** Die Auflagen für die biologische Sicherheit sind von Kultur zu Kultur verschieden. Darum sollen sie während eines Bewilligungsverfahrens für Freisetzungsversuche in Zusammenarbeit mit den versuchsführenden Institutionen vereinbart werden, um möglichst optimale, kulturspezifische Regelungen zu finden.
4. **Geringerer Kommunikationsaufwand:** Die verlangte Kommunikation während des Bewilligungsverfahrens stiess auf wenig Interesse. Sie kann in der Praxis reduziert werden.
5. **Schaffung geschützter Forschungsstandorte:** Die vordringlichste Massnahme für eine zukünftige Durchführung von Feldversuchen mit gentechnisch veränderten Pflanzen in der Schweiz ist die Schaffung sogenannter Protected Sites, Versuchsareale, die gegen Vandalenakte geschützt sind. Nur wenn geschützte Standorte als Basisinfrastruktur von der öffentlichen Hand zur Verfügung gestellt und finanziert werden, können individuelle Forschungsgruppen Projekte mit Feldversuchen überhaupt in Betracht ziehen. Dieses Anliegen wurde vom Bundesrat in der Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Innovation in den Jahren 2013 bis 2016 aufgenommen.

ENDNOTEN

- 1 Bundesamt für Veterinärwesen (BVET)
- 2 Bundesamt für Gesundheit (BAG)
- 3 Bundesamt für Landwirtschaft (BLW)
- 4 Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich (EKAH)
- 5 Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS)

LITERATUR

- [1] Foetzki, A., Winzeler, M., Boller, T., Felber, F., Gruissem, W., Keel, Ch., Keller, B., Mascher, F., Maurhofer, M., Nentwig, W., Romeis, J., Sautter, Ch., Schmid, B., Bigler, F. (2011) Freilandversuche mit gentechnisch verändertem Weizen mit Mehлтаuresistenz. Agrarforschung Schweiz 2, 446-453.
- [2] Bernauer, T., Tribaldos, T., Luginbühl, C., Winzeler, M. (2011) Government regulation and public opposition create high additional costs for field trials with GM crops in Switzerland. Transgenic Res. 2-0, 1227-1234.
- [3] Hettich, P., Walther, S. (2011) Schutz (vor) der Gentechnologie - Plädoyer für einen Perspektivenwechsel. In Lorandi, F., Staehelin, D. (Hrsg.) Innovatives Recht. Festschrift für Ivo Schwander Zürich: Dike, 65-86.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

4.2 Perspektiven des schweizerischen Gentechnikrechts

Das Gentechnikgesetz hat als eines seiner Hauptziele bestimmt, dass die land- und waldwirtschaftlichen Produktionsformen herkömmlicher Richtung neben der Produktion von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) gewährleistet bleiben müssen. Eine verlässliche, langfristige Koexistenzordnung fehlt in der Schweiz aber noch. Aus dem NFP 59 liegen jetzt konkrete Vorschläge für Massnahmen der Koexistenz der Produktion sowie der Wahlfreiheit der Konsumenten vor. Zudem werden präzise Korrekturen der Vorschriften über die Kommunikation zwischen den Behörden und privaten Betroffenen und sonstigen interessierten Personen gefordert. Diese notwendigen Rechtsänderungen können kaum bis zum Ende des im November 2013 auslaufenden Moratoriums von Zulassungsbewilligungen durchgeführt werden. Eine kurze Verlängerung des Moratoriums scheint vertretbar. Ein langfristiger Zulassungsstopp liesse sich aber nur über eine Änderung der Bundesverfassung selbst einführen.

RAINER J. SCHWEIZER, CHRISTOPH ERRASS,
STEFAN KOHLER, HERBERT BURKERT UND URS GASSER

AUSGANGSLAGE 2012

Mit Botschaft vom 1. Juli 2009¹ hat der Bundesrat den Eidgenössischen Räten vorgeschlagen, das von Volk und Ständen am 28. November 2005 beschlossene fünfjährige Moratorium für den Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft² um weitere drei Jahre zu verlängern. Daraufhin hat der Bund das Gentechnikgesetz (GTG) von 2003³ am 19. März 2010 dahingehend geändert, dass das Moratorium bis zum 27. November 2013 verlängert wurde.⁴ Die Notwendigkeit dieses Schrittes wurde vor allem mit dem grossen Bedarf an Rechtssicherheit bei den Bewilligungsbehörden begründet. Es wurde die Erwartung ausgesprochen, dass das NFP 59 erlaubt, neue Erkenntnisse über die Nutzung von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) zu gewinnen sowie Beiträge zur Ausgestaltung einer Koexistenzordnung zu erhalten, welche verlässlich langfristig sowohl den Erhalt der nicht gentechnisch veränderten Produktion als auch den Einsatz von gentechnisch veränderter Produktion in Landwirtschaft, Gartenbau und Waldwirtschaft garantiert.

Die internationalrechtliche und die europarechtliche Rahmenordnung einer schweizerischen Koexistenzordnung sowie die Tragweite der dazu schon bestehenden punktuellen Regelungselemente können heute als geklärt erachtet werden (siehe Kapitel 2.3). Eine konsistente, längerfristig gültige rechtliche Ordnung des Nebeneinanders verschiedener Produktions-

ZIELE EINER KOEXISTENZORDNUNG

Die Koexistenzordnung muss sicherstellen, dass die herkömmliche landwirtschaftliche Produktion unbehelligt neben der Produktion mit GVP betrieben werden kann und dass die Wahlfreiheit der Konsumentinnen und Konsumenten zwischen den unterschiedlich hergestellten Produkten gewährleistet wird.^[1] Diese Ziele der Koexistenzordnung sind land- und forstwirtschaftliche sowie konsumentenpolitische Anliegen. Daneben bestehen als Ziele noch der Schutz der biologischen Vielfalt⁵, der Schutz tradierter oder besonders schutzwürdiger genetischer Ressourcen (aufgrund verschiedener internationaler Abkommen) sowie insgesamt die Sicherstellung einer nachhaltigen und langfristigen Entwicklung der Pflanzenproduktion in der Schweiz.

formen fehlt aber noch. Dazu sollen die Vorschläge des Projekts *Rechtliche Rahmenbedingungen für die Grüne Gentechnologie* einen substanziellen Beitrag leisten. Gleichzeitig werden nachfolgend aus dem zweiten rechtswissenschaftlichen Projekt *Konzepte zum Vollzug der öffentlichen Information gemäss Gentechnikgesetz* Vorschläge zu einzelnen weiteren Änderungen des GTG präsentiert, welche die Informationstätigkeiten der Behörden beim Einsatz von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) systematisch verbessern sollen. Schliesslich sollen, worauf noch aufmerksam gemacht wird, noch vereinzelte Lücken oder Mängel des GTG behoben werden.

MÖGLICHKEITEN FÜR MASSNAHMEN EINER KOEXISTENZORDNUNG

Ungenügen des geltenden Koexistenzrechts

Das heute geltende Koexistenzrecht nach GTG und Freisetzungsverordnung (FrSV) ist ungenügend (siehe Kapitel 2.3). So fehlen beispielsweise gesetzliche Grundlagen für die Qualitätssicherungs- und Kontrollpflichten derjenigen, die GVO in Verkehr bringen, oder Pflichten zur informationellen Zusammenarbeit unter benachbarten Produzenten. Die zentrale Ordnung von Art. 9 FrSV ist gemäss Abs. 6 subsidiär gegenüber abweichendem Landwirtschafts- oder Lebensmittelrecht.

Aufgrund des Moratoriums⁶ gibt es keine Anwendungsfälle für eine geordnete Koexistenz. Dementsprechend sind die Praktikabilität und die Durchsetzbarkeit der geltenden rudimentären Ordnung nicht erprobt.

Im Weiteren enthält das geltende Koexistenzrecht einzelne Bestimmungen, etwa bezüglich der Pflicht zur Qualitätssicherung für Produzenten gentechnisch veränderter Produkte und der Selbstorganisation des getrennten Vertriebs von gentechnisch veränderten und nicht gentechnisch veränderten Produkten, die nicht auf einer genügenden Gesetzesgrundlage beruhen.

Schliesslich gibt es heute auch für die Ausscheidung gentechnikfreier Gebiete als Koexistenzmassnahme keine Gesetzesbasis.^[2]

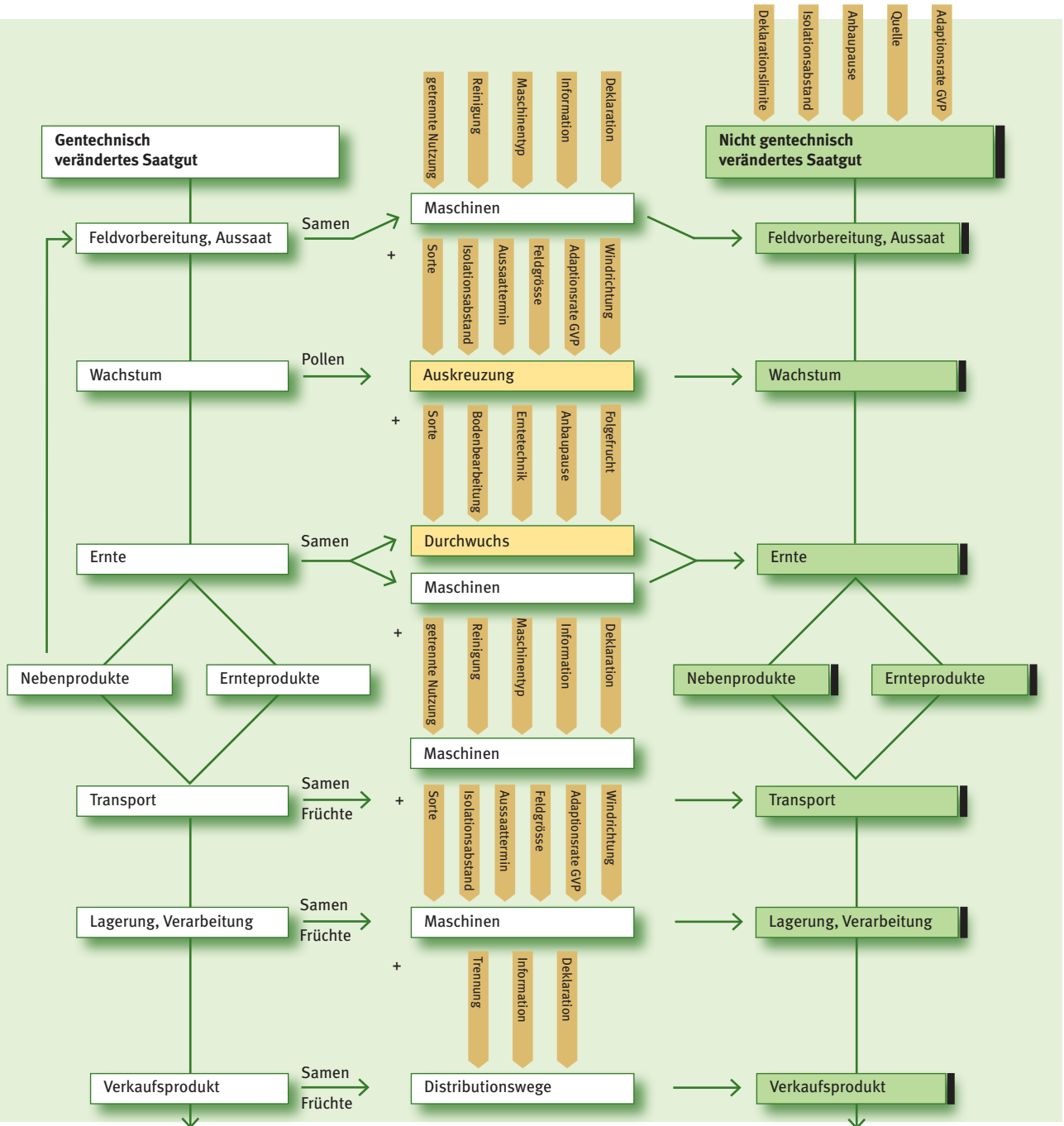
Abbildung 4.3: Eintrittspfade für GVO

Wenn landwirtschaftliche Erzeugnisse ohne GVO hergestellt und vertrieben werden, gibt es vielerlei mögliche Eintrittspfade für GVO. Eine Koexistenzordnung sollte eine Vermischung an diesen Punkten möglichst verhindern. Dazu werden namentlich den Produzenten von GVP besondere Pflichten auferlegt.

Legende

-  Koexistenzmassnahmen
-  Anteil Vermischung

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis



Ausscheidung gentechnikfreier Gebiete

Der im Schweizer Recht bestehende Art. 7 GTG enthält eine generalklauselartige Sorgfaltsregel für den Umgang mit GVO zum Schutz der gentechnikfreien Produktion. Er ermöglicht jedoch keine Ausscheidung von gentechnikfreien Zonen zur Sicherstellung der Koexistenz von gentechnisch veränderten und nicht gentechnisch veränderten Nutzpflanzen. Für die Ausscheidung dieser Zonen müsste daher eine Bundesregelung – nur so liesse sich eine landesweite und nachhaltige Koexistenz erreichen – auf Gesetzesstufe geschaffen werden, deren Einzelheiten auf Verordnungsstufe konkretisiert werden könnten. Der Bund verfügt dafür über eine ausreichende verfassungsmässige Grundlage, soweit es um die Sicherheit des Menschen, der Tiere, der Umwelt und um den Schutz der genetischen Vielfalt geht.¹ Zum Schutz einer bestimmten Produktionsmethode (insbesondere den Schutz des biologischen und integrierten Landbaus) kann Art. 104 BV als Grundlage herangezogen werden.

Für die inhaltliche Ausgestaltung einer solchen Regelung bietet sich eine vom Bund angeordnete und geregelte Planungspflicht für die Kantone an, wobei eine Steuerung mit oder ohne Sachplan «Gentechnikfreie Gebiete» infrage kommt. Die Regelung über die Ausscheidung gentechnikfreier Zonen und die darauf abgestützten grundeigentümerverbindlichen Verbote der Verwendung von gentechnisch verändertem Saatgut müssen im Hinblick auf die Erreichung des öffentlichen Interesses (Koexistenz) geeignet und erforderlich (also das mildeste Mittel im Sinne der Verhältnismässigkeit der Massnahme) sein und dürfen die Grundrechte² der Grundeigentümer und Bewirtschafter nicht in unverhältnismässiger Weise einschränken. Nicht nach der Art der Kulturpflanze und dem Standort unterscheidende Verbote der Verwendung könnten im Einzelfall unverhältnismässig sein, sodass die Bundesregelung eine entsprechende Grundlage für eine Ausnahmebewilligung vorsehen sollte.

Der Ausscheidung gentechnikfreier Zonen dürften insbesondere auch nicht das WTO-Recht – aufgrund der produktionsbezogenen Eigenschaft der Massnahme ist bereits dessen tatbestandliche Einschlägigkeit zu verneinen – sowie das EU-Recht entgegenstehen. Dessen Sekundärrecht sieht die Ausscheidung solcher Zonen zwar nicht vor, allerdings ist diese Frage auch nicht abschliessend geregelt und den Mitgliedstaaten steht ein weiter Spielraum zu. Die Ausweisung dürfte grundsätzlich auch mit dem freien Warenverkehr vereinbar sein,³ da jedenfalls eine Rechtfertigungsmöglichkeit unter anderem aus Gründen des Schutzes der Gesundheit und des Lebens von Menschen, Tieren oder Pflanzen – sofern man den Tatbestand überhaupt für einschlägig erachtet – gegeben ist.

ASTRID EPINEY

FUSSNOTEN

¹ 1 BV Art. 120 sowie 74, 76-78

² BV Art. 26 und 27

³ AEUV Art. 34

PFLICHTEN DER PRODUZENTEN VON GVP

Das bestehende inländische sowie das ausländische Koexistenzrecht kennen vielfältige Pflichten der Produzenten gentechnisch veränderter Pflanzen. Diese werden in aller Regel spezifisch für die jeweilige GVP definiert. Es ist die Aufgabe des Gesetzgebers, die in der Schweiz in Landwirtschaft, Gartenbau und Waldwirtschaft zweckmässigen Pflichten des Produzenten gentechnisch veränderter Pflanzen festzulegen.^[3]

Die Sicherung der Koexistenz beginnt bereits bei der Saatgut- und Pflanzgutproduktion. Dazu braucht es genügende Sicherheitsabstände zu Feldern, auf welchen gentechnisch veränderte Organismen eingesetzt werden.⁷ Diese Abstände müssen grösser sein als Sicherheitsabstände für die Produktion ohne gentechnisch veränderte Organismen, da das Saat- und Pflanzgut ganz am Anfang der Produktionskette steht und eine allfällige Verunreinigung oder Vermischung sich durch den ganzen Produktionsprozess weiterzieht.

Wer dann gentechnisch veränderte Pflanzen anbaut, muss gewisse Regeln des korrekten Umgangs⁸ mit GVO sowie deren Produkten einhalten.⁹ Wichtig ist die Information der Nachbarn und weiterer an Produktion und Vertrieb beteiligter Personen und Organisationen, wie zum

Die Information der Nachbarn und weiterer an Produktion und Vertrieb beteiligter Personen und Organisationen ist wichtig für den korrekten Umgang mit GVO.

Beispiel der Lagerhäuser für die Ernteerträge. Zentral ist auch die Einhaltung von Sicherheitsabständen. Diese beruhen auf der Tatsache, dass die Wahrscheinlichkeit einer Auskreuzung über die Distanz abnimmt. Die Abstandsvorschriften können unterschiedlich festgelegt werden, je nachdem, ob auf dem Nachbargrundstück konventionell oder biologisch produziert wird. Dies ist deshalb notwendig, weil bei einer verhältnismässigen Ausgestaltung der Abstandsvorschriften eine Verunreinigung mit GVO trotzdem möglich ist. Grössere Abstände zu biologischer Produktion verringern dieses Verunreinigungsrisiko. Zwar gelten in der Schweiz für konventionelle und biologische Produkte

zurzeit dieselben Toleranzwerte; dies könnte sich jedoch aufgrund von besonderen Anforderungen an die biologische oder ökologische Produktion ändern.¹⁰ Umgekehrt können Sicherheitsabstände beispielsweise durch das Einrichten von Pollenfallen reduziert werden. Auch durch eine spezifische Art der Bepflanzung kann die Wahrscheinlichkeit der Auskreuzung verringert werden. So können an den Rand des Feldes gentechnisch veränderte Pflanzen mit geringerer Auskreuzungswahrscheinlichkeit gepflanzt werden. Des Weiteren müssen die Koexistenzmassnahmen auch die Unterschiede zwischen den einzelnen gentechnisch

veränderten Arten und Sorten, besonders die unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten einer Auskreuzung, beachten. So besteht bei Raps sowohl gegenüber Wild- als auch Kulturpflanzen ein sehr hohes Auskreuzungsrisiko. Demgegenüber kann Mais zwar in andere Kulturpflanzensorten auskreuzen, mangels Verwandten jedoch nicht in Wildpflanzen.

Werden auf demselben Feld zuerst gentechnisch veränderte und anschliessend konventionelle Kulturpflanzen angebaut, so besteht die Gefahr von Durchwuchs. Das heisst, dass die in einem früheren Jahr kultivierten gentechnisch

veränderten Pflanzen die neu gesäten nicht gentechnisch veränderten Kulturen durchwachsen können, weil die Samen im Boden mehrere Jahre überleben können und manche noch keimfähig sind.^{[4][5]}

Um dies zu vermeiden, können Übergangszeiträume vorgeschrieben werden, welche vor einer Produktion ohne gentechnisch veränderte Organismen eingehalten werden müssen. Während dieser Übergangs-

zeiträume müssen die Produkte weiterhin als «gentechnisch verändert» deklariert werden. Auch danach muss der Anbauer weiterhin das Feld auf Durchwuchs

kontrollieren und diesen allenfalls beseitigen. Auch eine korrekte Fruchtfolge kann Durchwuchs vermeiden helfen.

Es muss somit eine Pflicht zur Überwachung und Beseitigung von Durchwuchs bestehen, nicht zuletzt auch, weil Durchwuchs auch auf das Nachbarfeld oder in die Kultur eines Betriebsnachfolgers aus-

kreuzen kann. Zudem obliegt dem Anbauer von GVP gegenüber einem allfälligen neuen Pächter oder einem Käufer des Grundstücks eine Informationspflicht bezüglich der Risiken des möglichen Durchwuchses.

Werden Maschinen und Transportfahrzeu-

ge sowohl in der Produktion gentechnisch veränderter als auch herkömmlicher Pflanzen verwendet, so müssen die Maschinen und Fahrzeuge vor dem Einsatz für eine gentechnikfreie Produkti-

on gründlich gereinigt werden. Auch müssen die Lagerplätze für die Ernte und die Plätze für Abfälle oder Kompost getrennt sein. Eine strikte Trennung ist aber in der Praxis nur schwer durchführbar:

So kooperieren in der Schweiz rund 40 Prozent der Landwirte in Maschinengemeinschaften und rund 22 Prozent in Maschineringen oder -genossenschaften.^[6]

Die Koexistenzmassnahmen müssen an die Unterschiede zwischen den einzelnen gentechnisch veränderten Arten und Sorten angepasst werden. Besonders die Wahrscheinlichkeit einer Auskreuzung muss dabei beachtet werden.

Da die Anbaubedingungen in den verschiedenen Klimazonen in der Schweiz stark differieren, müssen für GVP standortspezifische Vorgaben gemacht werden.

Abbildung 4.4: Saatgutproduktion in Rheinau im Kanton Zürich



Die saubere Trennung der Warenflüsse zur Vermeidung von Vermischungen ist sehr aufwendig. Saatguthersteller wie die Sativa Rheinau AG, die unter anderem Getreidesaatgut für Bio-Betriebe herstellt, erachten die dadurch entstehenden Kosten für zu hoch. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Da sich die Anbaubedingungen an den unterschiedlichen Standorten und in den verschiedenen Klimazonen in der Schweiz stark unterscheiden, müssen für den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen standortspezifische Vorgaben gemacht werden.^[7] Die entsprechenden Vorgaben müssten von den Herstellern gentechnisch veränderter Organismen, welche in der Schweiz die Produzenten beliefern wollen, gemäss ihren gesetzlichen Informationspflichten¹¹ noch entwickelt werden.^[1]

Unter den erwähnten Koexistenzvorschriften gibt es solche, die ausschliesslich dem Schutz des direkten Nachbarn dienen, wie zum Beispiel die Abstandsvorschriften zum Nachbarfeld. Hier sollten die Nachbarn grundsätzlich die Möglichkeit erhalten, durch Übereinkunft untereinander von diesen Vorschriften abzuweichen, sofern die Ziele der Koexistenzordnung eingehalten werden. Bei Vorschriften, welche auch Dritte oder die Umwelt schützen, dürfen keine abweichenden Übereinkünfte zugelassen werden.

SCHAFFUNG VON GEBIETEN OHNE GENTECHNIK

Unseres Erachtens muss der Bundesgesetzgeber die Voraussetzungen dafür präzisieren, wann gentechnikfreie Gebiete errichtet werden können. Diese braucht es einerseits, um besonders schutzbedürftige Landschaften wie Naturparks, Biotope, wertvolle Moore oder Auen zu schützen und die Biodiversität zu erhalten, wie dies unter anderem Art. 8 FrSV schon vorsieht. Andererseits sollen gentechnikfreie Gebiete einen Schutz der Produktion von Saatgut und Pflanzgut, bei dem es nicht zu einer Vermischung mit gentechnisch verändertem Material kommen darf, ermöglichen¹² oder in gewissen Gegenden der Sicherung von landwirtschaftlichen Fruchtfolgeflächen dienen.¹³ Im Weiteren wird in Kreisen der Landwirtschaftspolitik daran gedacht, dass gentechnikfreie Gebiete für eine durch hohe Qualität einer naturnahen und entsprechend gezeichneten Produktion geschaffen werden. Schliesslich ist eine Produktion von Honig ohne gentechnisch veränderte Organismen ausserhalb von gentechnikfreien Gebieten fast nicht durchführbar.¹⁴ Somit bestimmen die besonderen Gründe für die Errichtung eines gentechnikfreien Gebietes die Zulässigkeit des Vorgehens: Soweit es einem gesetzlich vorgesehenen Zweck dient, kann ein bestimmtes gentechnikfreies Gebiet vom Bund oder von einem Kanton errichtet werden. In jedem Fall sind die Rechte der betroffenen Landwirte und der Rechtsschutz zu respektieren.

GEWÄHRLEISTUNG DER WAHLFREIHEIT DER KONSUMENTINNEN UND KONSUMENTEN

Die Koexistenz muss nicht nur durch unterschiedliche Massnahmen während der Produktion auf dem Feld gesichert werden, sondern auch beim Vertrieb der Erzeugnisse. Art. 7 GTG fordert, dass in jedem und nach jedem Produktions- und Verarbeitungsprozess Erzeugnisse auf dem Markt angeboten werden, welche ohne gentechnische Methoden produziert worden sind. Deshalb muss bei der Lagerung, beim Transport und bei der Weiterverarbeitung der Warenfluss zwischen gentechnisch veränderten und nicht gentechnisch veränderten Produkten strikt getrennt werden. Ebenfalls sind spezifische Vorschriften betreffend Dokumentation und Rückverfolgbarkeit sowie solche über die Information der Verbraucher zu beachten.¹⁵

Sicherung der Warenflusstrennung:

Unter Warenfluss wird die Handhabung der Ware vom Feld bis zum Verkaufsprodukt verstanden. Das grösste Risiko der Vermischung besteht bei den Umschlagprozessen.^[8] Vor allem hier gilt es, durch gezielte Massnahmen und straffe Organisation Vermischungen zu vermeiden. Die verarbeitenden Betriebe und Händler in der Schweiz haben schon früh begonnen, im Rahmen der betrieblichen Qualitätssicherung wirksame Trennverfahren zu entwickeln und einzusetzen.^[9] Dabei konnten sie sich auf die Erfahrungen bei der Warenflusstrennung für Bio-Produkte

stützen, zum Beispiel bezüglich Sammelstellen, gesonderten Transportbehältern und besonderen Umladevorgängen. Im Einzelnen empfehlen sich die für die Warenflusstrennung notwendigen Massnahmen in den folgenden Teilbereichen:

- Massnahmen beim Transport;
- Massnahmen bei der Lagerung von Saat- und Pflanzgut, von Erntegut und von Verarbeitungsprodukten;
- Massnahmen bei jeder Weiterverarbeitung.

Eine wirksame Warenflusstrennung verlangt unter Umständen allerdings beachtliche finanzielle, organisatorische und strukturelle Aufwendungen.

Das Ziel der lückenlosen Warenflusstrennung vom Feld bis zum Endprodukt kann letztlich aber nur durch eine möglichst effiziente Prozesskontrolle erreicht werden. Vom Anbau über die Lagerung, die Verarbeitung bis hin zum Vertrieb der Erzeugnisse müssen mit den geeigneten Massnahmen und einer lückenlosen Dokumentation konventionelle von gentechnisch veränderten Waren getrennt werden. Deshalb hängt die Warenflusstrennung eng mit der Frage der Gewährleistung der Rückverfolgbarkeit zusammen.

Pflicht zur Dokumentation und Rückverfolgbarkeit: Zur Sicherung der Koexistenz in den Phasen der Verarbeitung

und des Vertriebs sind besondere Vorkehrungen für die Rückverfolgbarkeit von GVO nötig. Diese bildet eine der Produktion nachgelagerte Risikovorsorge¹⁶, die selbstverständlich auch Auswirkungen auf den Produktionsprozess hat. Rückverfolgbarkeit bedeutet die Möglichkeit, in Verkehr gebrachte, gentechnisch veränderte Produkte über die ganze Herstellungs- und Vertriebskette hinweg lückenlos zurückzuverfolgen. Dafür braucht es eine detaillierte Dokumentation von einer Stufe der Produktions- und Vermarktungskette zur nächsten. Grundsätzlich müssten auf jeder Stufe immer nur die unmittelbar vorgelagerte und die nachgelagerte Stufe dokumentiert sein, doch kann auch ein Informationsaustausch über die ganze Wertschöpfungskette verlangt werden, wofür beispielsweise ein spezifischer Erkennungsmarker eingesetzt¹⁷

oder ein System eines elektronischen Frachtbriefts verwendet wird. So soll sichergestellt werden, dass die Verarbeitungswege vollständig kontrolliert werden können und

ein schneller Rückruf fehlerhafter Produkte möglich ist. Dokumentation und Rückverfolgbarkeit sind notwendige Voraussetzungen der Warenflusstrennung sowie auch der Kennzeichnung. Um Vermischungen zu verhindern oder möglichst gering zu halten, müssen

Die Warenflusstrennung hängt eng mit der Frage der Gewährleistung der Rückverfolgbarkeit zusammen.

regelmässige Analysen sowie Prozesskontrollen die Einhaltung der Limiten zulässiger Vermischung sichern.

Diese als notwendig erachteten Massnahmen sind allerdings nicht ohne Probleme: Zum einen kann man sich fragen, ob nur Produkte, die GVO enthalten oder aus solchen oder Teilen derselben

bestehen, kontrolliert und gekennzeichnet werden sollen oder ob auch gentechnikfreie Produkte, die aber aus oder mit GVO hergestellt worden sind, einer Überprüfung und Dokumentation bedür-

fen. Zum anderen erweist sich die Rückverfolgbarkeit mit der strikten Trennung der Produktions- und Vertriebswege als ein kompliziertes und aufwendiges Unterfangen, etwa wenn ganze Schiffsladungen von Futtermitteln unterschiedlicher Herkunft von ausserhalb der EU importiert werden. Die Rückverfolgbarkeitsvorschriften sind für Handel und verarbeitende Industrie kostenintensiv,

auch wenn hier die Informationstechnologie optimal eingesetzt werden kann. Letztlich verlangen die Konsumentinnen und Konsumenten eine vollständige

Transparenz, weshalb diese in jedem Fall garantiert werden muss.

Probleme der Kennzeichnung: Das EU-Recht legt seinem Kennzeichnungssystem bei Lebens- und Futtermitteln eine verfahrensbezogene Kennzeichnungspflicht zugrunde.^[10] Ausschlaggebend für die Kennzeichnung von Lebensmitteln

bezüglich Gentechnik ist nicht mehr der Nachweis transgener DNA-sowie Proteinanteile in einem Lebensmittel oder einer Lebensmittelzutat. Vielmehr reicht die Tatsache, dass ein Lebensmittel oder eine

Lebensmittelzutat aus gentechnisch veränderten Organismen¹⁸ besteht, diese enthält oder daraus hergestellt worden ist.¹⁹

Entscheidend ist demnach, ob im Laufe der Herstellung und Verarbeitung eines Produkts gentechnische Verfahren angewendet worden sind. Damit wurde in der EU für die Gentechnik Kennzeichnung und für die Rückverfolgbarkeit als deren Grundlage der Schritt von der Produkt- zur

Prozess- und Herkunftskennzeichnung vollzogen. Das schafft wahrscheinlich bei den Konsumentinnen und Konsumenten mehr Vertrauen, schränkt aber den Wert

Die Gewährleistung der Warenflusstrennung sowie der Rückverfolgbarkeit kann recht kostenintensiv sein, aber sie ist unerlässlich.

Eine produktbezogene Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung wäre praktikabler als eine prozessbezogene, da sie aufgrund eines naturwissenschaftlichen Nachweises funktioniert und einfacher und günstiger durchzuführen ist.

von Analysen ein. Die Schweiz hat sich bisher diesem System bei Lebens- und Futtermitteln angeschlossen, richtet sich aber bei der Kennzeichnung von Pflanzenschutzmitteln, Dünger, Bioziden, Saatgut und weiteren Produktionsmitteln nach dem Fremd-DNA-Nachweis von GVO. Dass diese bei Lebensmitteln und Futtermitteln massgebliche politische Linie aus Sicht des NFP

59 problematisch ist, ist offensichtlich.

Eine rein produktbezogene Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung wäre praktikabler, da sie einerseits einen verlässlichen naturwissenschaftlichen Nachweis liefert und andererseits einfacher und günstiger durchzuführen ist.

Probleme der Schwellenwerte: Es ist nicht durchführbar, schon bei jeder auch nur geringfügigen, zufällig entstandenen oder unvermeidbaren Verunreinigung eine Kennzeichnung zu verlangen. Deshalb werden im Schweizer wie im EU-Recht für

die Kennzeichnung Schwellenwerte festgesetzt: Liegen die Spuren von gentechnisch veränderten Organismen in nicht gentechnisch veränderten Organismen

oder Produkten unter dem gesetzlichen Schwellenwert, so darf eine Kennzeichnung trotz der Verunreinigung erfolgen,

allerdings nur, sofern diese tatsächlich zufällig geschah oder technisch nicht zu vermeiden war. Die Hauptproblematik dieser gelten den Kennzeichnungsschwellenwerte ist, dass diese zum Teil zu grosszügig und insgesamt sehr unterschiedlich festgelegt sind. Die

Unterschiede beruhen vermutlich darauf, dass die Schwellenwerte zu verschiedenen Zeiten von verschiedenen Ämtern für die Lösung von einzelnen Problemen eingeführt wurden.

Voraussetzungen einer Negativ-Kennzeichnung: Produzenten wie Konsumenten haben ein Interesse, Produkte,

die ohne den Einsatz von Gentechnik entstanden sind, als solche zu kennzeichnen. Doch eine völlig gentechnikfreie Produktion beziehungsweise die 100-prozentige Gentechnikfreiheit ist in der Praxis kaum zu

erreichen. Deshalb ist es entscheidend, wie die Negativ-Kennzeichnung «ohne Gentechnik hergestellt» definiert wird. Die EU will jetzt harmonisierte Bedingungen

Wenn Spuren von GVO einen gewissen Schwellenwert unterschreiten und zufällig oder technisch nicht zu vermeiden sind, entfällt die Kennzeichnungspflicht. Die Koexistenz gilt dann als rechtlich noch gewährleistet.

Eine Negativ-Kennzeichnung von Produkten, die ohne gentechnisch veränderte Organismen hergestellt wurden, ist wenig sinnvoll, weil eine 100-prozentige Gentechnikfreiheit nicht möglich ist.

festlegen, unter denen ein Erzeugnis als gentechnikfrei gekennzeichnet werden darf. Dabei soll durch die Harmonisierung der Vorschriften in den einzelnen Mitgliedstaaten die bisherige gemeinschaftliche Kennzeichnungsschwelle für Lebens- und Futtermittel von 0,9 Prozent Anteil von GVO in einem Produkt auf einen wirtschaftlich nicht mehr relevanten Prozentsatz gesenkt werden.²⁰ Unserer Ansicht nach sollte es jedoch keine Negativ-Kennzeichnung geben. Sie entspricht zwar einem gewissen Bedürfnis der Produzenten und vor allem Wünschen der Konsumentinnen und Konsumenten, da diese mehrheitlich eine 100-prozentige Gentechnikfreiheit fordern. Da eine solche aber nicht möglich ist, sollte auf die Negativ-Kennzeichnung besser verzichtet werden.

AUSGEWÄHLTE VORSCHLÄGE ZUR RECHTLICHEN REGELUNG DER KOEXISTENZ IM GTG

Der Art. 7 GTG ist, wie erwähnt, eine bloße Zielnorm, die höchstens eine minimale Ordnung erlaubt und auf keine rechtlich verlässliche Koexistenzordnung abgestützt werden kann. Dies aus zwei Gründen:

- Die Bundesverfassung verlangt, dass im Bundesrecht wichtige Normen in einem Bundesgesetz selbst beschlossen werden.²¹

- Zudem sind die Verfassungsregeln über die Einschränkung von Grundrechten zu beachten.²² Eine effektive Koexistenzordnung und eine strikte Warenflusstrennung, wie sie aus landwirtschafts- und konsumentenpolitischen Gründen gefordert werden, greifen unvermeidlich in die Wirtschaftsfreiheit und Eigentumsgarantie ein. Dabei kommt es teilweise zu schweren Grundrechtseingriffen, die eben eine Grundlage im GTG selbst brauchen.

Das heutige Gentechnikgesetz erlaubt höchstens eine minimale Ordnung, auf die jedoch keine rechtlich verlässliche Koexistenzordnung abgestützt werden kann.

Zwar enthält das geltende Recht im Gentechnikgesetz²³ und in speziellen Verordnungen²⁴ einige Anknüpfungspunkte, etwa zur Trennung der Warenflüsse,²⁵ bezüglich der Rückverfolgbarkeit und

Dokumentation sowie bezüglich der Kennzeichnung. Insgesamt finden aber nur sehr wenige Massnahmen der Koexistenz- und Warenflussordnung eine Grundlage im GTG.

Nach unserer Ansicht soll Art. 7 GTG weiterhin die Zielnorm der Koexistenzordnung sein. Wir plädieren aber dafür, dass eine redaktionelle Änderung erfolgt, wonach verschiedene Produktionsarten ohne Einbussen nebeneinander bestehen können sollen. Im Übrigen sollte im GTG und den Ausführungsverordnungen nicht von «Koexistenz» die Rede sein,²⁶ sondern vom Nebeneinander verschiedener

Produktionsarten. Neben der Zielnorm von Art. 7 braucht das GTG eine umfassende Delegationsnorm an den Bundesrat für die Garantie des Nebeneinanders verschiedener Produktionsformen.

Daneben muss das GTG nur noch einige ergänzende Grundsatzbestimmungen enthalten:

- Sollen in der Landwirtschaft, im Gartenbau und in der Wirtschaft zwischen Produzenten von gentechnisch veränderten sowie nicht gentechnisch veränderten Produkten Absprachen erfolgen, so braucht es dafür einen Auftrag beziehungsweise eine Ermächtigung im GTG.
- Der Bundesgesetzgeber muss den Grundentscheid treffen, ob nur für Erzeugnisse mit gentechnisch veränderten Anteilen eine besondere Rückverfolgbarkeit, Dokumentation und Kennzeichnung stattfinden soll, oder ob im Sinne der EU-Kompatibilität die ganzen Produktionsprozesse, in denen gentechnisch veränderte Organismen eingesetzt werden, entsprechend getrennt durchzuführen, zu dokumentieren und zu kennzeichnen sind.
- Die Grundsatzfrage muss geklärt werden, ob die Koexistenz insbesondere in der Verarbeitung und im Vertrieb durch die beteiligten Wirtschaftssubjekte mittels eigenen Qualitätsmanagements und in Selbstorganisation durchgeführt werden soll oder ob durch detaillierte Verordnungsvorschriften die entsprechenden Vorkehren und Kontrollen festgelegt werden sollen.

- Der Bundesgesetzgeber muss bestimmen, unter welchen Voraussetzungen der Bund oder die Kantone, von sich aus oder auf Initiative Privater, bestimmte abgegrenzte gentechnikfreie Gebiete schaffen können. Fest steht, dass es verfassungsrechtlich nicht anständig ist, dass ein Kanton, wie dies heute schon als politisches Zeichen durch einige Kantone geschah, von sich aus das ganze Kantonsgebiet für gentechnikfrei erklärt. Der Bundesgesetzgeber darf nur mit Rücksicht auf besondere öffentliche Schutz- oder Förderbedürfnisse, die in einem bestimmten, abgegrenzten Gebiet bestehen, den Einsatz der Grünen Gentechnik für eine längere Zeit nicht zulassen.^[2]

Für eine funktionierende Koexistenzordnung sollen unter Umständen noch punktuell weitere Gesetzesänderungen vorgenommen werden:

- Die bestehende Haftpflichtordnung²⁷ mit ihrer strengen Herstellerhaftung beziehungsweise mit dem Privileg für Landwirte soll dahingehend modifiziert werden soll, dass die Möglichkeiten des Regresses auf Personen und Unternehmen, welche die Koexistenzvorschriften vorsätzlich oder grobfahrlässig verletzen, erweitert werden. Vor allem aber muss es auch eine Haftung für Vermögensschäden geben, denn eine gentechnische Veränderung ist weder biologisch noch rechtlich ein

Sachschaden, sondern sie bewirkt höchstens eine Vermögenseinbusse etwa von Biolandwirten.

- Für die Einhaltung der Koexistenzordnung sollen genau bemessene Strafbestimmungen vorgesehen werden: Die heutigen Verwaltungsstrafen des GTG haben zu pauschale Voraussetzungen.

ÄNDERUNGEN VON INFORMATIONSBEOZUGENEN VORSCHRIFTEN DES GTG

Das GTG ist ein herausragendes Beispiel für jene Form moderner Verwaltungsvorschriften, die sich in besonderem Masse auf das Verwaltungsmittel «Information» abstützt: Die Verwaltung versucht, die ihr gestellten Ziele vor allem dadurch zu erreichen, dass sie sich über den Verwaltungsgegenstand informiert, in ihrem eigenen Handeln auf eine hohe Transparenz achtet und relevante externe Wissensressourcen in Anspruch nimmt oder zu diesen beiträgt. Sie begreift sich selbst als lernende Organisation, stellt in der Regel die ihr verfügbaren Informationen und Wis-

sensgehalte der Öffentlichkeit bereit und engagiert sich in Prozessen der Informationsvermittlung. Ein solches auf Information basierendes Verwaltungshandeln bietet sich vor allem in einem Bereich wie

der Gentechnik an. Denn hier geht es um sehr komplexe Sachverhalte, die einerseits ein grosses positives Potenzial haben und andererseits auch existenzielle und tief greifende konzeptionelle Veränderungen der Gesellschaft und Wirtschaft mit sich bringen. Zugleich gibt es in diesem Bereich keinen gesicherten Erfahrungsstand, auf dem die Verwaltung aufbauen kann; im Gegenteil, sie wird häufig mit politischen und wissenschaftlichen Kontroversen konfrontiert und zum Handeln aufgefordert, während der Gegenstand einer hohen Veränderungsgeschwindigkeit unterliegt. Für eine Bewältigung von derart ungesicherten und zugleich fundamental wichtigen Aufgaben ist das Verwaltungsmittel «Information» von zentraler Bedeutung und das GTG in seiner ent-

sprechenden grundsätzlichen Ausrichtung beispielhaft, ja zukunftsweisend.^[11]

Das Projekt *Konzepte zum Vollzug der öffentlichen Information gemäss Gentechnikgesetz* weist im Rahmen des NFP 59 nicht nur auf verschiedene Mängel der bisherigen behördlichen Informa-

tionspraxis hin, sondern liefert auch konkrete Vorschläge, wie die rechtlichen Grundlagen der behördlichen Kommunikation und Information funktional und sachgerecht ausgestaltet werden sollen.^[12]

Das Schweizer Gentechnikgesetz misst der Information und Kommunikation zwischen Behörden und Antragstellern und interessierter Öffentlichkeit eine grosse Bedeutung zu. Die Vorschriften sind aber wenig substanziell und vermischen zum Teil die Informationsprozesse.

Nachfolgend werden die wichtigsten Empfehlungen zur Korrektur der bestehenden informationsrechtlichen Vorschriften im Schweizer Gentechnikrecht zusammengefasst.

Im GTG ist der Ausgangspunkt, dass Beziehungen geordnet werden:

- die Informationsbeziehungen zwischen den Behörden und der Öffentlichkeit;
- die Informationsbeziehungen zwischen der Eidgenössischen Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) und der Eidgenössischen Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich (EKAH), sowie die Beziehungen dieser Kommissionen zu den entscheidenden Behörden und zur Öffentlichkeit;
- die Informationsbeziehungen zwischen Behörden und Antragstellern in den verschiedenen Entscheidungs- oder Beschwerdeverfahren.

Allerdings hat das GTG – trotz seiner markanten informationsrechtlichen Ausrichtung – noch weitgehend traditionelle Regelungsmuster für die Festlegung und Ausgestaltung der Informationsabläufe sowie eine verwirrende Vielfalt entsprechender Vorschriften. Dies führt zuerst zu folgenden zentralen Empfehlungen:

- Regelungselemente, die sich aus dem herkömmlichen Verwaltungsverfahren im Rahmen von Antrags-, Bewilligungs- und Beschwerdeentscheiden ergeben, müssen deutlicher von der rechtlichen Gestaltung der

auf die Öffentlichkeit hin orientierten Informationsflüsse und Kommunikationstätigkeiten abgesetzt werden.

- Die verfahrensbezogenen Informationsnormen sind schon bisher in eine feste Struktur von Rechten und Pflichten der Verfahrensbeteiligten eingebunden und als solche zu Recht privilegiert.
- Die Normen über die Information zuhanden der Öffentlichkeit über solche Verfahren dürfen hingegen nicht (wie in Art. 18 GTG und Art. 54 FrSV) mit den Informationen für die Verfahrensbeteiligten vermischt werden, sondern sie sind schwächer zu gewichten.

Die folgenden Empfehlungen betreffen die Rechtsnormen über die Informationskanäle zur Öffentlichkeit, die im GTG und den Verordnungen leider nur schwach durchgestaltet sind. Zwar werden die Informationsgegenstände grob beschrieben. Es fehlen aber die Vorgaben, wann was in welcher Form zu kommunizieren ist, wie der Dialog mit der Öffentlichkeit initiiert werden soll und wie der Kanal von den Bürgern zurück zu den Behörden auszugestalten ist. Darum wird empfohlen, dass für die Kommunikation der Behörden und der beiden wichtigen Kommissionen mit der Öffentlichkeit die bisherigen Vorschriften angereichert werden:

- Diese Kommunikation muss rechtsverbindlich über die blossen periodischen Berichte hinausgehen und es muss den Behörden und Kommissionen erlaubt

werden, mit modernen Kommunikationsmitteln einen verstärkten Dialog mit der Öffentlichkeit und den interessierten Kreisen aufzubauen.

- Speziell für die EFBS und die EKAH wird empfohlen, dass sie, neben der zentralen Beratung der Bundesbehörden, mehr Mittel erhalten, um ihre so wichtigen Informations- und

Kommunikationsaufgaben aktiver betreiben zu können. Denkbar wäre etwa, dass ihnen ein gemeinsamer organisatorisch-technischer Unterbau zur Verfügung steht.

Insgesamt sollten aufgrund der Arbeiten im NFP 59 die Informations- und Kommunikationsvorschriften²⁸ geklärt und präzisiert werden. Dies ist für den kommenden Vollzug des Schweizer Gentechnikrechts sehr wichtig.

ERLEICHTERUNGEN FÜR DIE FORSCHUNG ZUR AUSSERHUMANEN GENTECHNIK

Forschende machen immer wieder geltend, dass das Gentechnikrecht erhebliche Schranken für Freisetzungsversuche enthält. Dabei spielt sicher eine Rolle, dass es in der Schweiz ausser bei Versuchen mit gentechnisch veränderten Organismen in geschlossenen Systemen

noch keine Routine mit standardisierten Bewilligungsverfahren gibt. Forscherkreise verlangen, dass Erleichterungen der Zulassung geprüft werden. Gefordert wird auch, dass für Freisetzungsversuche besondere Versuchsgelände angeboten werden, wo die Versuchsfelder vor Vandalismus geschützt sind.^[13] Das letzte Anliegen wird im Rahmen der neuen Forschungs-

botschaft mit besonderen Fördermitteln für die Weiterführung eines im Rahmen des NFP 59 errichteten gesicherten Versuchsgeländes (Protected Site) berücksichtigt.^[14] Hingegen ist es rechtlich kaum möglich, dass für Versuche auf einem solchen Versuchsgelände globale Bewilligungen erteilt würden; denn es müssen nach Art. 120 BV die unterschiedlichen Risiken der verschiedenen GVO spezifisch beurteilt werden. Geprüft werden können Rahmenbewilligungen für verschiedene Versuche mit demselben GVP. Im Rahmen von Art. 14 GTG sind auch vereinfachte Melde- und Bewilligungsverfahren für Freisetzungsversuche mit bestimmten GVO gut denkbar. Schliesslich werden auch Klärungen bei den im Zusammenhang mit Bewilligungsverfahren bestehenden Informationspflichten die Verfahren für Freisetzungsversuchen deutlich erleichtern.

WIE WEITER NACH DEM ENDE DES MORATORIUMS?

Die bevorstehenden Ausführungen umreissen den Reformbedarf des Gentechnikrechts auf Gesetzes- und Verordnungsstufe. Die verantwortlichen Bundesämter für Landwirtschaft und für Umweltschutz werden die wichtigsten Reformvorhaben in einer Revisionsvorlage zusammenfassen, welche Ende 2012/ Anfang 2013 in einem Vernehmlassungsverfahren zur Diskussion gestellt werden sollen. Danach wird der Bundesrat die akzeptierten Rechtsänderungen bereinigen lassen. Es darf davon ausgegangen werden, dass der Bundesrat, soweit die Gesetzeslage dies erlaubt, die wichtigsten Änderungen auf Stufe der Verordnungen noch vor dem Ablauf des Moratoriums am 27. November 2013 beschliessen und auf diesen Zeitpunkt hin den Eidgenössischen Räten eine Botschaft mit den Anträgen für die Gesetzesänderungen unterbreiten wird.

In der Frühjahrssession 2012 wurde im Nationalrat eine Motion eingereicht, welche das Moratorium nochmals verlängern möchte.²⁹ Ob das Parlament,

wenn der Bundesrat die Motion annimmt und einen Vorschlag für eine begrenzte Verlängerung des Moratoriums vorlegt, dieser nochmaligen Verlängerung zustimmt, um damit mehr Zeit für den Erlass der notwendigen Gesetzesbestimmungen für eine funktionierende Koexistenzord-

nung zu haben oder ob es auf eine Verlängerung verzichten will, ist heute noch eine offene Frage. Ein langfristiges Moratorium der Bewilligungen für das Inverkehrbringen von GVO ist aber nach dem massgeblichen geltenden Art. 120 Bundesverfassung nicht zulässig, weil die Bundesverfassung zwar bestimmte Schutz- und Fördermassnahmen zugunsten nicht gentechnisch veränderter Produktionen erlaubt, aber insgesamt ein geordnetes, gleichberechtigtes Nebeneinander der unterschiedlichen Pflanzen- und Tierproduktionen will.³⁰ Eine

Verlängerung des Moratoriums von beispielsweise einem Jahr, welche für den endgültigen Aufbau der Koexistenzordnung wünschbar ist, erscheint aber als verfassungsrechtlich zulässig. Wenn eine weitergehende Verlängerung politisch gewollt würde, müsste dazu die Verfassung geändert werden.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

1. Die informationsrechtlichen Vorschriften im Schweizer Gentechnikrecht müssen korrigiert werden, um geordnete Informationsbeziehungen mit klarer Gewichtung zu schaffen. Dabei gilt es, folgende Punkte zu beachten:
 - Regelungselemente, die sich aus dem herkömmlichen Verwaltungsverfahrenrecht im Rahmen von Antrags-, Bewilligungs- und Beschwerdeentscheiden ergeben, müssen deutlich von der rechtlichen Gestaltung der auf die Öffentlichkeit hin orientierten Information und Kommunikation getrennt werden.
 - Die Normen über die Information zuhanden der Öffentlichkeit über solche Verfahren dürfen nicht mit den Informationen für die Verfahrensbeteiligten vermischt werden, sondern sind schwächer zu gewichten.
 - Die Vorschriften für die Kommunikation der Behörden und der beiden wichtigen Kommissionen, der Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) und Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich (EKAH) mit der Öffentlichkeit müssen angereichert werden. Die Information muss rechtsverbindlich über die blossen periodischen Berichte hinausgehen. Und es muss den Behörden und Kommissionen erlaubt werden, mit modernen Kommunikationsmitteln einen verstärkten Dialog mit der Öffentlichkeit und interessierten Kreisen aufzubauen.
 - Die EFBS und die EKAH sollten neben der zentralen Beratung der Bundesbehörden mehr Mittel erhalten, um ihre so wichtigen Informations- und Kommunikationsaufgaben aktiver betreiben zu können. Denkbar wäre etwa, dass ihnen ein gemeinsamer organisatorisch-technischer Unterbau zur Verfügung steht.

-
2. Die Bewilligungsverfahren für Freisetzungsversuche innerhalb der geforderten gesicherten Versuchsgelände (Protected Sites) könnten mit folgenden Massnahmen vereinfacht werden:
- Klärung der Informationspflichten bei Bewilligungsverfahren;
 - Rahmenbewilligungen für verschiedene Versuche mit denselben GVP;
 - vereinfachte Melde- und Bewilligungsverfahren für Freisetzungsversuche mit bestimmten GVO.

ENDNOTEN

- 1 BBl 2009 5435
- 2 Art. 197 Ziff. 7 Bundesverfassung
- 3 SR 814.91
- 4 Art. 37a Übergangsfrist für das Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen. Für das Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten Pflanzen und Pflanzenteilen, gentechnisch verändertem Saatgut und anderem pflanzlichem Vermehrungsmaterial sowie gentechnisch veränderten Tieren zu landwirtschaftlichen, gartenbaulichen oder waldwirtschaftlichen Zwecken dürfen für den Zeitraum bis zum 27. November 2013 keine Bewilligungen erteilt werden. Der Bundesrat erlässt bis zu diesem Zeitpunkt die nötigen Ausführungsbestimmungen.
- 5 Art. 8 Biodiversitätskonvention. Übereinkommen vom 5. Juni 1992 über die Biologische Vielfalt (SR 0.451.43)
- 6 Art. 37a GTG
- 7 Art. 14a der Verordnung vom 7. Dezember 1998 über die Produktion und das Inverkehrbringen von pflanzlichem Vermehrungsmaterial (Vermehrungsmaterial-Verordnung, SR 916.151) i.V.m. Verordnung des EVD vom 7. Dezember 1998 über Saat- und Pflanzgut von Acker- und Futterpflanzen- sowie Gemüsearten (Saat- und Pflanzgut-Verordnung des EVD, SR 916.151.1)
- 8 Art. 5 Abs. 4 GTG definiert als Umgang «jede Tätigkeit im Zusammenhang mit Organismen, insbesondere das Herstellen, im Versuch Freisetzen, Inverkehrbringen, Einführen, Ausführen, Halten, Verwenden, Lagern, Transportieren oder Entsorgen».
- 9 Art. 9 Abs. 1 FrSV
- 10 Wie dies beispielsweise bereits in der EU der Fall ist, Art. 4 Abs. a lit. iii und Art. 9 Abs. 1 Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91
- 11 Art. 15 Abs. 1 GTG
- 12 Art. 27a und 163 Landwirtschaftsgesetz
- 13 Art. 26 und 30 Abs. 1 Raumplanungsverordnung vom 28. Juni 2000 (RPV; SR 700.1)
- 14 EuGH Urteil vom 7. Dezember 2010, Rs. C-442/09
- 15 Die Verfasser danken Frau Assistenzprofessorin Dr. iur. Isabelle Wildhaber für ihre Unterstützung bei diesem Abschnitt.
- 16 Im Sinne von Art. 2 Abs. 1 GTG
- 17 Art. 9 Abs. 4 und 5 FrSV
- 18 Im Sinne von Art. 2 Ziff. 5 der Verordnung (EG) Nr. 1829/2003 über gentechnisch veränderte Lebens- und Futtermittel
- 19 ABl Nr. L 268 vom 18. Oktober 2003, S. 1 ff.
- 20 Art. 26b b(neu), Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2001/18/EG betr. die den Mitgliedstaaten eingeräumten Möglichkeiten, den Anbau von GVO auf ihrem Hoheitsgebiet zu beschränken oder zu untersagen
- 21 Art. 164 Abs. 1 BV
- 22 Art. 36 Abs. 1 BV
- 23 Art. 17 GTG
- 24 Art. 10 FrSV, Art. 7 VGVL
- 25 Art. 21 u. 21a Verordnung vom 26. Mai 1999 über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln (Futtermittel-Verordnung; SR 916.307); Art. 14 und 50 Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständerverordnung vom 23. November 2005 (SR 817.02); Art. 8-10 Verordnung des EDI vom 23. November 2005 über gentechnisch veränderte Lebensmittel (VGVL) (SR 817.022.51); Art. 9 Abs. 4 und 5 FrSV
- 26 Der Begriff bezieht sich im Wesentlichen auf die Produktion von Naturpflanzen und nicht auf den sonstigen Einsatz von GVO oder nicht gentechnisch veränderten Organismen.
- 27 Art. 30 GTG
- 28 Art. 18, 22 Abs. 4, 23 Abs. 5 und 26 Abs. 2 GTG
- 29 12.3028 – Motion, Nationalrat Markus Ritter «Gentech-Moratorium befristet weiterführen»
- 30 Botschaft zur Änderung des Gentechnikgesetzes (Verlängerung des GVO-Moratoriums in der Landwirtschaft) vom 1. Juli 2009, BBl 2009 5435, 5457

LITERATUR

- [1] Errass, Ch. (2006) Öffentliches Recht der Gentechnologie im Ausserhumanbereich. Bern 2006, S. 238 ff., 253 ff.
- [2] Epiney, A., Waldmann, B., Oeschger, M., Heuck, J. (2011) Die Ausscheidung von gentechnikfreien Gebieten in der Schweiz de lege lata et de lege ferenda. Zürich 2011, 126 ff., 131 ff.
- [3] Sanvido, O., Widmer, F., Winzeler, M., Streit, B., Szerencsits, E., Bigler, F. (2005) Koexistenz verschiedener landwirtschaftlicher Anbausysteme mit und ohne Gentechnik. Schriftenreihe der FAL 55, Agroscope FAL Reckenholz.
- [4] Nowack Heimgartner, K., Bickel, R., Pushparajah Lorenzen, R., Wyss, E. (2002) Sicherung der gentechnikfreien Bioproduktion, Eintrittswege gentechnisch veränderter Organismen, Gegenmassnahmen und Empfehlungen. Bern 2002, S. 89.
- [5] Müller, W. (2002) GVO freie Bewirtschaftungsgebiete: Konzeption und Analyse von Szenarien und Umsetzungsschritten. Endbericht. Strobl, 20 ff.
- [6] Möhring, A., Anken, T., Lauber, S. (2007) Relevanz der überbetrieblichen Zusammenarbeit in der Landwirtschaft. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- [7] Schlatter, Ch., Oehen, B. (2004) Gentechnik in der Landwirtschaft. Räumliche Aspekte der Koexistenz in der Schweiz. FiBL.
- [8] Wenk, N., Stebler, D., Bickel, R. (2001) PROGNOSES. Endbericht: Warenflusstrennung von GVO Lebensmitteln.
- [9] Nowack, K., Wüthrich, K., Oehen, B. (2006) Entwicklung der GVO-Verunreinigungen in biologischen und konventionellen Lebens- und Futtermitteln im Zeitraum von 2000 bis 2005. Mitt. Lebensm. Hyg. 97, 466-477.
- [10] Wildhaber, I. (2009) Stand des europäischen und deutschen Gentechnikrechts im Frühjahr 2009. Jusletter vom 11. Mai 2009, Rz. 7 ff.
- [11] Burkert, H., Gasser, U. (in press) Informationsfunktionale Analyse der informationsbezogenen Normen des Gentechnikgesetzes und seines normativen Umfeldes.
- [12] Schweizer, R. J., Bürgi, G., Burkert, H., Gasser, U., Meier, W., Bächler, J., Stütz, J. (in press) Concepts on the implantation of public information in line with the Gentechnology Law: Harmonising political or ethical concerns, requirements of the law and scientific findings.
- [13] Hettich, P., Walter, S. (2011) Schutz (vor) der Gentechnologie. In Lorandi, F., Staehelin, D. (Hrsg.) Innovatives Recht. Festschrift für Ivo Schwander. Zürich: Dike, 65, bes. 78 ff.
- [14] Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Innovation in den Jahren 2013–2016 vom 22. Februar 2012. BBl 2012 3099, 3278 f.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

4.3 Neue genetische Techniken für die Pflanzenzucht

Die neuen genetischen Techniken haben ein ausserordentliches Potenzial für die Pflanzenzüchtung und die Pflanzenbiotechnologie. Dies beruht unter anderem auf den Möglichkeiten, Mutationen oder Gene gezielt in die Pflanze einzubringen, bestimmte Gene in ihrer Aktivität zu verändern oder von einer Einzelpflanze genetisch identische Nachkommen zu züchten. Obschon einige der Verfahren Gentechnik nutzen, ist in den für den Anbau vorgesehenen Pflanzen meist keine gentechnische Veränderung mehr vorhanden. Angesichts der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten der neuen Techniken erscheint es sinnvoll, vor ihrer Anwendung eine öffentliche Erläuterung der wissenschaftlichen Grundlagen und der Vorteile sowie eine Erklärung zu den gesetzgeberischen Rahmenbedingungen vorzuschicken. Dies würde die Akzeptanz in der Bevölkerung fördern.^[1] Andernfalls könnten Vorbehalte die züchterisch ausgezeichneten Perspektiven dieser Techniken deutlich einschränken.

WILFRIED WACKERNAGEL

MOTIVATION FÜR DIE ENTWICKLUNG NEUER TECHNIKEN

Die Gentechnik ist eine breit anwendbare biomolekulare Vorgehensweise. Sie hat sowohl die Grundlagenforschung als auch die angewandte Forschung in Biologie, Medizin, Biotechnologie, Landwirtschaft, Lebensmittelerzeugung und Pharmakologie revolutioniert. Parallel zu den verschiedenen Anwendungsgebieten wurde in den vergangenen Jahren eine ganze Reihe neuer genetischer Techniken für die Pflanzenzüchtung entwickelt. Ein wichtiges Motiv ist dabei die Beschleunigung der Züchtungsverfahren. Die neuen Technologien könnten aber auch die Entschärfung der Gentechnik-Problematik bewirken: Die Zulassung von neuen gentechnisch veränderten Organismen (GVO) ist äusserst aufwendig und gleichzeitig kann deren Vermarktung auf breite Ablehnung stossen. Eine mögliche Lösung dafür ist, die Gentechnik bei der Entwicklung von neuen Kulturpflanzenlinien so einzusetzen, dass die damit produzierten Pflanzen oder deren Früchte keine gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) sind.

Gentechnik kann bei der Entwicklung neuer Kulturpflanzenlinien so eingesetzt werden, dass die damit produzierten Pflanzen oder deren Früchte keine GVP sind.

Bereits 2007 haben die Zulassungsbehörden einiger EU-Staaten vorgeschlagen, dass einige neue genetische Techniken auf ihre Einordnung unter die GVO-Richtlinien überprüft werden sollten.

GVO-EINSTUFUNG: PRODUKT ODER PROZESS

Für jede neue genetische Technik muss vorab geprüft werden, ob das Herstellungsverfahren sowie das Produkt schlussendlich unter die EU-Richtlinien für den Umgang mit GVO fällt oder nicht.^{[2][3]} Die Einführung dieser Richtlinien dient dem Schutz vor möglichen Gefahren, die vom Erbmateriale in GVO herrühren könnten. Diese Risiken müssen in Betracht gezogen werden, weil sich in GVO das fremde Erbmateriale in einem neuen Kontext befindet, wodurch die Wirkung des Erbmateriale nicht abschliessend vorhersagbar ist. Die EU-Richtlinien regeln also den Umgang mit Organismen, die durch Gentechnik dauerhaft integriertes fremdes Erbmateriale enthalten.

Bereits im Jahr 2007 haben Mitglieder der «Competent Authorities» (Zulassungsbehörden für GVO, deren Freisetzung und Inverkehrbringen) einiger EU-Staaten vorgeschlagen, dass eine Reihe neuer genetischer Techniken, insbesondere für die Anwendung bei der Pflanzenzücht, definiert und auf ihre Einordnung unter die EU-Richtlinien hin überprüft werden sollte. Zu diesem Zweck wurde 2008 die

«New Techniques Working Group» (NTWG) mit zwei Experten aus jedem EU-Mitgliedsstaat eingerichtet. Die Experten nahmen ihre Arbeit mit einer ersten Sitzung in Brüssel am 15. Dezember 2008 auf. Die Arbeit der NTWG wurde mit dem «Final Report» im Dezember 2011 abgeschlossen. Zu verschiedenen Aspekten der Techniken und der Produkte in Bezug auf

Für die Einstufung, ob ein Organismus gentechnisch verändert ist oder nicht, ist das Endprodukt entscheidend und nicht die Zwischenstufen im Prozess.

die EU-Richtlinien hat die NTWG in ihrem Abschlussbericht Stellung bezogen. Sie hält darin fest, dass in Zellen eingebrachtes neues genetisches Material nur dann zu einem GVO führt, wenn dieses sich tatsächlich repliziert und an die Nachkommen weitergegeben wird. Ist dies nicht der Fall, ist die Zelle oder der Organismus kein GVO. Ferner war die NTWG der Auffassung, dass auch von einem GVO mit integrierter Fremd-DNA ein nicht gentechnisch veränderter Organismus abstammen kann, wenn die Fremd-DNA nachweislich entfernt wurde. Solche Nachkommen enthalten dementsprechend nicht das Risiko, das mit klassischer Gentechnik verbunden sein könnte und fallen nicht unter die regulatorischen Vorschriften der EU-Richtlinien. Das Endprodukt ist also entscheidend und nicht die Zwischenstufen im Prozess.

Ein weiterer Punkt ist, dass sich nur «echte» GVO anhand ihrer rekombinanten DNA identifizieren lassen. Die Identi-

fizierbarkeit ist für ein erfolgreiches Monitoring notwendig. Dagegen sind Pflanzen, die durch einige der neuen Techniken entstanden sind und dabei nur vorübergehend fremde DNA enthielten, genetisch nicht von ihren Ausgangspflanzen oder von natürlich vorkommenden Varianten des Wildtyps zu unterscheiden.

Zudem haben die Experten der NTWG – unter der Sichtweise, dass RNA für zelluläre Organismen kein Erbmaterial ist – die Übertragung von rekombinanter RNA in Zellen nicht als Erzeugung eines GVO eingestuft.

NEUE GENETISCHE TECHNIKEN MIT ANWENDUNGSPOTENZIAL

Im Folgenden werden die neuen Techniken und Anwendungsmöglichkeiten dargestellt und mit der Bewertung durch die NTWG hinsichtlich der EU-Richtlinien ergänzt.

Oligonukleotid-gesteuerte Mutagenese (OgM)

Durch das Einbringen von kurzen DNA-Abschnitten in Zellen lassen sich Punktmutationen gezielt auslösen. Diese sogenannten Oligonukleotide, bestehend aus 20 bis 100 Nukleotiden, werden entsprechend der Zielregion im Genom ausgewählt.^{[4][5]}

Es gibt mehrere Varianten dieser Technik, bei denen man unterschiedliche Oligonukleotide in die Zellen einbringt:

Abbildung 4.5: Tabak als Ziel neuer gentechnischer Methoden



Bei Agrarpflanzen wie Tabak, Raps, Mais und anderen funktioniert die Mutagenese mit Oligonukleotiden. Die Methode wird als Variante klassischer Mutagenese beurteilt; die so gezüchteten Pflanzen gelten somit nicht als transgen.

Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

- DNA-Oligonukleotide, die sich durch wenige Nukleotide von der Zielsequenz unterscheiden;
- aus Anteilen von DNA und RNA bestehende Oligonukleotide (chimäre Oligonukleotide);
- Oligonukleotide, die mit der Zielsequenz eine dreisträngige DNA bilden;
- RNA-Oligonukleotide, die sich durch wenige Nukleotide von der Zielsequenz unterscheiden;
- Oligonukleotide mit einer angehängten mutationsauslösenden chemischen

Gruppe (wie z. B. ein radioaktiver Stoff, der beim Zerfall einen Doppelstrangbruch auslösen kann).

Die zellulären Mechanismen, die zur Mutation führen, sind für die verschiedenen Oligonukleotide nicht im Detail bekannt. Während DNA-Oligonukleotide die Mutationen durch den Austausch einer neuen Sequenz verursachen, stellen dreisträngige DNA-Sequenzen aufgrund ihrer Struktur Angriffspunkte für zelluläre DNA-Reparaturenzyme dar. Im Verlauf

der Reparatur entstehen dann vermutlich durch die nicht homologe Verknüpfung von DNA-Enden die Punktmutationen beziehungsweise kleine Deletionen oder Insertionen. RNA-Oligonukleotide dienen den DNA-Reparaturmechanismen möglicherweise als Vorlage und führen so die Mutation herbei.

Die Mutagenese mit Oligonukleotiden wurde bereits bei verschiedenen Agrarpflanzen wie Raps, Mais, Tabak, Reis und Weizen erfolgreich durchgeführt. In Europa ist bereits eine auf diese Weise gezüchtete Sorte auf dem Markt: der herbizidresistente Clearfield-Raps von BASF. Das Oligonukleotid dient bei dieser Technik als ortsspezifisches Mutagen und wurde deshalb von den Experten der NTWG als eine Variante klassischer Mutagenese beurteilt.

Zinkfinger-Nuklease-Technik

Diese Technik ermöglicht das gezielte Einbringen von unterschiedlichen Mutationen in ein Genom. Die Zinkfinger-Nukleasen (ZFN) sind Enzyme, die aus zwei verschiedenen Bereichen bestehen: Der Bereich mit dem sogenannten Zinkfinger bindet an eine spezifische Nukleotidsequenz, während der enzymatisch aktive Bereich die DNA spalten kann. So erzeugen die Enzyme benachbart zu ihrem DNA-Bindungsort einen DNA-Strangbruch. Binden zwei Enzyme gegenläufig, können sie einen Doppelstrangbruch zwischen ihren beiden Bindungsorten hervorrufen. Ein geeignetes

Enzympaar kann in einem grossen Genom (z. B. bei Pflanzen, Tieren oder beim Menschen) eine Sequenz erkennen, die nur ein einziges Mal vorkommt.^[6] Die Zinkfinger-Nukleasen kommen auf verschiedene Arten zur Anwendung:

- Entweder werden Zellen mit einem replikationsunfähigen Plasmid transformiert, welches das Gen für die ZFN trägt. Dieses Gen wird vorübergehend exprimiert und geht dann wieder verloren.
- Oder die Zellen werden mit Messenger-RNA, welche die ZFN codiert, transformiert.
- Schliesslich kann isoliertes ZFN-Protein auch direkt in die Zelle geschleust werden.

Der durch die ZFN erzeugte Doppelstrangbruch kann auf drei Arten zu einer genetischen Veränderung führen. Daran sind immer die zelleigenen DNA-Reparaturenzyme beteiligt.

- Zinkfinger-Nuklease-1 (ZFN-1): Der Reparaturvorgang des Doppelstrangbruchs führt zu Veränderungen von einem Basenpaar oder kleinen Insertionen respektive Deletionen am Ort des Doppelstrangbruchs. So lassen sich ortsspezifisch zufällige Punktmutationen erzeugen.
- Zinkfinger-Nuklease-2 (ZFN-2): Wenn mit den ZFN ein Oligonukleotid in eine Zelle eingebracht wird, dessen Nukleotidsequenz Ähnlichkeit zur Region um den Doppelstrangbruch besitzt, lässt sich durch die Abweichung von

der Sequenz eine gewünschte Punktmutation gezielt am Ort des Doppelstrangbruchs erzeugen.

- Zinkfinger-Nuklease-3 (ZFN-3): In die Zelle wird mit den ZFN ein grosses DNA-Stück aus Tausenden von Basenpaaren eingebracht. Dieses enthält ein Fremdgen, das von zwei Sequenzen flankiert ist, welche mit den beiden DNA-Enden am Doppelstrangbruch identisch sind. So wird das Fremdgen direkt am Ort des Doppelstrangbruchs durch Rekombination integriert.

Die verschiedenen ZFN-Techniken dienen der Gen-Inaktivierung, der Einführung von bestimmten Mutationen oder dem Einbau von neuen Genen bis hin zur Erzeugung definierter grosser Deletionen. Der Einbau von fremder oder eigener DNA ins Genom kann gezielt und ohne negative Auswirkung auf vorhandene Gene erfolgen. Die ZFN-Technik wurde bereits erfolgreich bei der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* sowie bei Tabak und Mais angewendet und auch bei Säugerzellen und Tieren wie Zebrafischen, Fruchtfliegen, Ratten und Nematoden eingesetzt.

Die Experten der NTWG waren der Auffassung, dass die Techniken ZFN-1 und ZFN-2 zu den Mutagenese-Techniken gehören. Daher sind die damit hergestellten Organismen von den EU-Richtlinien ausgenommen. Die Technik ZFN-3 hingegen führt mit der Integration eines DNA-Segmentes aus einem nicht kreuzbaren Organismus eindeutig

zu einem gentechnisch veränderten Organismus und wird daher gemäss den Richtlinien beurteilt.^{[6][7]}

Cisgenese und Intragenese

Cisgenese beschreibt die genetische Veränderung einer Empfängerpflanze mit einem oder mehreren Genen aus der gleichen oder einer mit der Empfängerpflanze kreuzbaren Pflanze.^[8] Bei der Cisgenese wird das Gen unverändert mit seinen Introns und Steuerelementen in das neue Genom übertragen. Dabei wird der Gentransfer so durchgeführt, dass im Empfänger keine grösseren fremden DNA-Abschnitte verbleiben.

Bei der Intragenese besteht die übertragene DNA jeweils aus einer Kombination von Genabschnitten, Genkombinationen oder Genen mit fremden Steuerelementen. Die DNA kommt, wie schon bei der Cisgenese, aus der gleichen oder kreuzbaren anderen Pflanzen.^[9]

Cisgenese und Intragenese eignen sich für die Verbesserung von Agrarpflanzen durch das Einfügen von Resistenzgenen gegen Pilze oder andere Krankheitserreger, die aus Wildpflanzen entnommen werden. Ein Beispiel für Cisgenese sind die im Projekt *Schorfresistente Äpfel* erzeugten Linien der Apfelsorte Gala. Diese sind resistent gegen Apfelschorf dank der

Das Ergebnis der Cisgenese ist dasselbe wie bei der klassischen Kreuzungszüchtung. Der Vorteil liegt aber im schnelleren Erreichen des Zuchtziels und im vollständigen Erhalt der übrigen genetischen Information des Empfängerorganismus.

Übertragung des Resistenzgens aus einem Wildapfel, wobei alle guten Eigenschaften von Gala erhalten bleiben.^[10] Im Prinzip wird durch Cisgenese dasselbe erreicht wie bei der klassischen Kreuzungszüchtung. Der Vorteil liegt aber im schnelleren Erreichen des Zuchtziels und im vollständigen Erhalt der übrigen genetischen Information des Empfängerorganismus. Ausserdem wird durch Cis- und Intragenese die Einkreuzung unerwünschter Gene vermieden, die bei der klassischen Kreuzungszüchtung auftreten kann. Diese neue Art der Züchtung wird heute ausser bei Obstgehölzen auch schon bei Getreide und Zierpflanzen angewendet.

In der Bewertung durch die Experten der NTWG gelten kurze Nukleotidsequenzen von etwa zehn Basenpaaren, die nach der Übertragung der Gene gelegentlich im Empfänger-genom verbleiben, nicht als Eintrag von Fremd-DNA, da solche Sequenzen gelegentlich ohnehin in einem Genom vorkommen. Als Fremdsequenzen eingestuft wurden jedoch DNA-Abschnitte mit einer Länge ab 20 Nukleotidpaaren. Oft wird für den Gentransfer in die

Kurze Nukleotidsequenzen von etwa zehn Basenpaaren, die nach der Übertragung der Gene gelegentlich im Empfänger-genom verbleiben, werden nicht als Eintrag von Fremd-DNA bewertet.

Die DNA-Methylierung und die Inaktivierung von Genen sind Teil von natürlichen Abläufen innerhalb von zellulären Regelprozessen in Pflanzen- und Tierzellen.

Pflanzen das Bakterium *Agrobacterium tumefaciens* benutzt. Die Sequenz, die nach der Genübertragung aus dem Bakterienvektor in den resultierenden Pflanzen verbleibt, stellt nach Beurteilung der Experten der NTWG aber keine Fremd-DNA dar, wenn solche Sequenzen natürlicherweise im Genom der Pflanze oder im Genom von Pflanzen, die mit der Experimentalpflanze kreuzbar sind, vorkommen.

RNA-gesteuerte DNA-Methylierung für die Genregulation (RdDM)

Wenn bestimmte Gene einer Pflanze abgeschaltet werden sollen, zum Beispiel, um ihr Blühverhalten zu verändern, kann dies durch die gezielte DNA-Methylierung und somit Inaktivierung von Promotorregionen erfolgen.^{[11][12]}

Die DNA-Methylierung und die Inaktivierung von Genen sind Teil von natürlichen Abläufen innerhalb von zellulären Regelprozessen in Pflanzen- und Tierzellen. Das veränderte Methylierungsmuster bleibt in der nächsten Generation erhalten. Für die gezielte Promotor-Methylierung wird in die Zelle eine doppelsträngige RNA mit der Sequenz

Abbildung 4.6: Ein Weinbaugebiet von Bedeutung – «Lavaux» am Genfersee



Weinreben bestehen in der Regel aus einem Spross, der auf eine Wurzelunterlage gepfropft ist. In Zukunft könnten Unterlage oder Spross auch gentechnisch verändert sein. Ob die entstehende Pflanze dann als gentechnisch verändert gilt, hängt davon ab, welcher Teil von beiden transgen ist. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

des betreffenden Promotors eingebracht. Zelleigene Enzyme methylieren dann die zur RNA identische Promotorsequenz im Genom der Pflanze. Das Verfahren ist für Zellen von Säugetieren und Pflanzen verfügbar. Wird aus der Pflanzenzelle eine komplette Pflanze regeneriert, bleibt das neue Methylierungsmuster über mehrere Generationen erhalten. Bei dem Verfahren kann ein gewünschtes Gen ausgeschaltet werden, ohne dass im Organismus ein einziges Nukleotidpaar ausgetauscht wurde. Die Technik wurde bereits bei der

Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* erprobt. Gegenwärtig wird das Verfahren auf andere Pflanzen ausgedehnt.^[13]

Pfropfen auf transgene Unterlagen

Als eine wichtige Methode erweist sich die gentechnische Veränderung von Pflanzen, von denen dann lediglich der Wurzelstock mit den neuen Eigenschaften verwendet wird. Wenn ein nicht transgenes Reis auf einen gentechnisch veränderten Wurzelstock gepfropft wird, lässt sich dadurch beispielsweise eine

Abbildung 4.7: Kohlernte in der Schweiz



Für die Produktion von Kohlpflanzen könnte die genetische Transformation mittels «Floral Dip» vorgenommen werden. Die Technik wird standardmässig aber erst in der Forschung bei einer Modellpflanze verwendet. Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis

Schädlingsresistenz des Sprosses oder eine erhöhte Produktion von Früchten auf übersalzenen Böden erzeugen.^[14] Das Pfropfen auf gentechnisch veränderte Wurzelstöcke ist unter anderem bei Gurken- und Melonengewächsen, Obstbäumen und Wein erfolgreich. Nachweislich gelangen lediglich Stoffwechselprodukte, Cytokine oder RNA aus der Wurzel in den Spross, jedoch keine chromosomalen Gene.^[15] Es stellt sich die Frage, ob solche chimären Pflanzen im Ganzen als GVO betrachtet werden müssen. Da der Wurzelstock einen eigenen Spross bilden

kann, der dann gentechnisch veränderte Pollen und Früchte produziert, ist die Pflanze klar gentechnisch verändert. Die Experten der NTWG stellten aber fest, dass Früchte, Samen oder Pollen des nicht veränderten Sprosses als nicht gentechnisch verändert einzustufen sind. Sie enthalten kein Transgen und können somit unter keinen Umständen zu transgenen Pflanzen führen. Wenn umgekehrt ein transgener Spross auf eine nicht transgene Unterlage gepfropft wird, dann sind die gesamte Pflanze und deren Pollen und Früchte als GVO einzustufen.

«Reverse Breeding»

Während in der klassischen Hybridzüchtung zwei geeignete Ausgangslinien von Pflanzen gekreuzt werden, um die erwünschten Hybriden zu erhalten, geht die neue Methode genau umgekehrt vor.

Eine Hybride mit den gewünschten Eigenschaften wird ausgewählt. Aus dieser Einzelpflanze generiert der Züchter in zahlreichen Zwischenschritten zwei

Früchte, Samen oder Pollen des nicht veränderten Sprosses enthalten kein Transgen und können somit unter keinen Umständen zu transgenen Pflanzen führen.

Elternpflanzen, bei deren Kreuzung dann wieder die Hybriden entstehen.^{[16][17]} Dieses Verfahren wird für die kommerzielle Züchtung propagiert. Weitere Methoden, solche perfekt homozygoten Linien für die Hybridzüchtung herzustellen, wurden erst kürzlich publiziert.^[18]

Agro-Infiltration und «Floral Dip»

Bakterien der Spezies *Agrobacterium tumefaciens* sind natürlicherweise in der Lage, ein Stück ihrer DNA in Pflanzenzellen zu übertragen. Diese Fähigkeit wird genutzt, um DNA-Stücke mit einem bestimmten Gen in Pflanzenzellen zu bringen. Das Gen steuert in der Pflanze dann die Bildung eines gewünschten Proteins. Für dieses Verfahren wird das betreffende Gen in die DNA der Agrobakterien eingefügt. Dann wird ein Teil der Pflanze, beispielsweise ein Blatt, mit einer Suspension von Agrobakterien infiziert. Durch den DNA-Transfer in die

Pflanzenzellen wird eine lokal begrenzte hohe Expression des Gens im Pflanzengewebe erreicht, ohne dass sich die DNA stabil ins Pflanzengenom integriert. Die Vorteile der Methode liegen in ihrer Ge-

schwindigkeit, Einfachheit und der hohen Genexpression. So lassen sich zum Beispiel sehr schnell grosse Mengen eines Proteins in der Pflanze erzeugen und isolieren. Oder es können bestimmte geneti-

sche Konstrukte auf ihre Expression in verschiedenen Pflanzen getestet werden.

In einer anderen Anwendung des Verfahrens wird pflanzliches Gewebe mit Keimzellen (z. B. Blüten) einer Infiltration mit dem Bakterium unterzogen (Floral Dip). Daraus werden anschliessend stabil transformierte Embryos isoliert. Dies ist gegenwärtig eine Standardprozedur für die Transformation der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* und sie funktioniert auch bei Raps, Kohl und anderen landwirtschaftlichen Pflanzen.

Hinsichtlich der Einordnung in die EU-Richtlinien sind die gentechnisch veränderten Agrobakterien als GVO einzustufen. Zur Frage, ob die Pflanzen, an deren Blättern die Agro-Infiltration vorgenommen wurde, als GVO anzusehen sind, bestand keine Einigkeit in der NTWG. Die Experten waren sich jedoch einig, dass bei der Abwesenheit einer stabil integrierten DNA die Nachkommen dieser Pflanzen

keine GVP sind. Dagegen sind die nach dem «Floral Dip» isolierten Nachkommen mit integrierter DNA definitiv GVP. Die kommerzielle Produktion von wertvollen biologischen Substanzen durch Agro-Infiltration, beispielsweise in Tabakpflanzen, wird bereits betrieben.

Synthetische Biologie

Ursprünglich sollte dieser Bereich neuer Techniken von der NTWG als

«Synthetische Biologie» behandelt werden. Dieser nur undeutlich definierte Begriff schließt sehr unterschiedliche Ziele, Verfahren und Anwendungen mit ein. Dazu gehört unter anderem die Konstruktion von biologisch-regulatorischen Schaltkreisen, die auf externe Reize reagieren. Ebenso zählt dazu die Synthese von Protokollen, die einerseits einige Eigenschaften lebender Zellen haben, andererseits von eigenständiger Replikation ausgeschlossen sind. Ein anderes Ziel ist die Konzeption von Minimalzellen, die dann mit integrierten künstlichen Stoffwechselwegen versehen werden können, um neue Biomoleküle

zu synthetisieren. Diese können für die Pharmazie, als Energiequelle oder als Verpackungsmaterial verwendet werden.

Innerhalb der synthetischen Biologie ist die Synthese von Genen, Gengruppen, neuartigen Genkombinationen und ganzen Genomen ein wichtiges Feld. Der

Ersatz eines mikrobiellen Genoms durch ein synthetisch hergestelltes Genom ist kürzlich bereits realisiert worden.^[19] Diese neue Technik ermöglicht es auch, neuartige Nukleinsäuren mit einem veränderten genetischen Code

oder mit neuartigen Basen herzustellen und eröffnet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Biotechnologie. Deshalb wurde im Kreis der neuen Techniken zunächst der einschränkende Begriff «Synthetic Genomics» gewählt.

Die Synthese neuer Genome und deren Transplantation in eine andere Zelle führen entsprechend den EU-Richtlinien

klar zu einem GVO, sofern die Zellen mit dem neuen Genom zur Replikation befähigt sind. Sollte die synthetisierte Nukleinsäure in ein Kompartiment eingeführt werden, das sich nicht repliziert und auch die Nukleinsäure nicht in lebende Zellen

zu übertragen vermag, dann handelt es sich offensichtlich nicht um eine Zelle und somit auch nicht um einen GVO im

Durch den DNA-Transfer mittels Agrobakterien wird eine lokal begrenzte Expression des Gens im Pflanzengewebe erreicht, ohne dass sich die DNA stabil ins Pflanzengenom integriert.

Die «Synthetische Biologie» eröffnet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Biotechnologie. Sind die neu synthetisierten Zellen fähig, sich zu replizieren, führt diese Technik entsprechend den EU-Richtlinien klar zu einem GVO.

Sinne der EU-Richtlinien. Von kommerziellen Anwendungen der «Synthetischen Biologie» ist noch nichts bekannt.

STATUS DER NEUEN TECHNIKEN

Die neuen Techniken setzen Nukleinsäuren in unterschiedlicher Weise ein. Vier Kategorien von Verfahren lassen sich unterscheiden.

1. In vitro synthetisierte, kurze Nukleinsäuren werden in Zellen eingebracht, wo sie eine Punktmutation auslösen können, aber nicht genomisch integriert werden (Beispiel: OGM). Dies ist keine Technik, die unter die EU-Richtlinien fällt, da die eingesetzten Oligonukleotide kein genetisches Material im Sinne der EU-Richtlinien sind. Die genetisch veränderten Organismen sind offiziell keine GVO, weil durch Mutagenese erzeugte Mutanten von den EU-Richtlinien explizit ausgenommen sind.
2. Die lediglich vorübergehende Anwesenheit von rekombinanten DNA-Molekülen in Zellen ist ein Zwischenstadium in mehreren Techniken. Die DNA wird dabei jedoch weder ins Genom integriert noch eigenständig repliziert. Sie dient nur der vorübergehenden Bildung von bestimmten Enzymen (Beispiel: ZFN-1 und ZFN-2) oder RNA-Molekülen (Beispiel: RdDM). Die Zwischenstufenzellen sind wegen der fehlenden Replikation der rekombinanten Moleküle beziehungsweise der fehlenden dauerhaften Weitergabe an die

Nachkommenzellen im Sinne der EU-Richtlinien keine GVO. Am Ende der Prozedur ist in den Organismen keine rekombinante DNA mehr vorhanden, der Genotyp (ZFN-1, ZFN-2) beziehungsweise Phänotyp (RdDM) der Pflanzen ist aber wunschgemäss verändert.

3. Eine Gruppe von Techniken basiert darauf, dass zunächst ein GVO erzeugt wird, bei dem aber später die integrierte DNA durch Kreuzung (Reverse Breeding) oder durch lokales Ausschneiden von fremden Genen aus dem Genom (Cis-genese) wieder entfernt wird. Rekombinante DNA ist in der endgültigen Pflanze nicht mehr vorhanden. Diese Organismen sind keine GVO.
4. Bei einigen Techniken werden dauerhaft gentechnisch veränderte Organismen geschaffen. Dazu zählen durch die ZFN-3-Technik erzeugte Pflanzen, gepfropfte Pflanzen mit transgenem Wurzelstock sowie Organismen mit neuem, synthetisch erstelltem Genom. Diese Techniken, beziehungsweise die erzeugten Organismen, fallen klar unter die EU-Richtlinien, mit Ausnahme der Nachkommen von Reisern auf einem transgenen Wurzelstock.

Unter den neuen Techniken lassen sich vier Kategorien unterscheiden. Nur eine der Kategorien bringt dauerhaft gentechnisch veränderte Organismen hervor, welche gemäss den EU-Richtlinien als GVO beurteilt werden müssen. Trotzdem laufen im allgemeinen Verständnis alle Techniken unter dem Begriff «Gentechnik».

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

1. Es gibt keine wissenschaftliche Begründung, um klassische und gentechnisch hergestellte Nutzpflanzen mit unterschiedlichen Massstäben zu bewerten. Bei der Risikobewertung soll das Produkt (also die Pflanze) und nicht die Technologie, mit der sie hergestellt worden ist, im Vordergrund stehen. Gentechnisch veränderte Sortenlinien müssen, genau wie neue Sortenlinien, die mit klassischen Methoden gezüchtet werden, als biologische Produkte auf ihre Verträglichkeit für Mensch, Tier und Umwelt getestet und auf die jeweiligen agronomischen Konzepte abgestimmt werden.
2. Neue Techniken der Pflanzenzucht nutzen Gentechnik in der Art, dass in dem für den Anbau vorgesehenen Produkt keinerlei gentechnische Veränderung mehr zu erkennen ist. Gemäss den EU-Richtlinien sind Produkte aus diesen neuen Techniken keine GVO. Dies ist künftig bei der Beurteilung von Freisetzungsgesuchen durch die Behörden und bei der Warendeklaration zu berücksichtigen.
3. Angesichts der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten der neuen Techniken erscheint es sinnvoll, vor ihrer Anwendung eine öffentliche Erläuterung der wissenschaftlichen Grundlagen und der Vorteile und eine Erklärung zu den gesetzgeberischen Rahmenbedingungen vorzuschicken. Dies würde die Akzeptanz fördern. Andernfalls könnten Vorbehalte, nicht zuletzt wegen vermeintlicher oder tatsächlicher Nähe zur Gentechnik, die züchterisch ausgezeichneten Perspektiven dieser Techniken deutlich begrenzen.
4. Die moderne Pflanzenzüchtung hat sich in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt. Es sind heute gentechnisch veränderte Nutzpflanzen mit mehreren kombinierten neuen Merkmalen verfügbar. Deren Einsatz gewinnt an Bedeutung. Ausgehend von den für die Schweiz relevanten Berechnungsgrundlagen würde eine kombinierte Herbizid- und Krankheitsresistenz zu einer deutlich besseren Wirtschaftlichkeit von GVP führen. Die Einschätzung der wirtschaftlichen Bedeutung von GVP für die Schweiz sollte in Zukunft anhand neu entwickelter Pflanzen mit kombinierten und neuen Eigenschaften beurteilt werden.

LITERATUR

- [1] Kuzma, J., Kokotovitch, A. (2011) Renegotiating GM crop regulation. *EMBO Reports* 12, 883-888.
- [2] Official Journal of the European Communities (1990) Council Directive 90/219/EC on the contained use of genetically modified micro-organisms. *OJ L* 117, 1-14.
- [3] Official Journal of the European Communities (2001) Council Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing. *OJ L* 106, 1-39.
- [4] Simon, P., Cannata, F., Concordet, J. P., Giovannangeli, C. (2008) Targeting DNA with triplex-forming oligonucleotides to modify gene sequence. *Biochimie* 90, 1109-1116.
- [5] Storici, F. (2008) RNA-mediated DNA modifications and RNA-templated DNA repair. *Curr Opin Molec Therapeutics* 10, 224-230.
- [6] Urnov, F. D., Rebar, E. J., Holmes, M. C., Zhang, H. S., Gregory, P. D. (2010) Genome editing with engineered zinc finger nucleases. *Nat Rev Genet* 11, 636-646.
- [7] ZKBS (2011) Allgemeine Stellungnahme der ZKBS zur Verwendung der Zinkfinger-Nuklease-Technik 1 (ZFN-1). *Az.* 6790-10-103.
- [8] Jacobsen, E., Schouten, H. J. (2007) Cisgenesis strongly improves introgression breeding and induced translocation breeding of plants. *Trends Biotechnol* 25, 219-223.
- [9] Rommens, C. M. (2007) Intragenic crop improvement: combining the benefits of traditional breeding and genetic engineering. *J Agric Food Chem.* 55, 4281-4288.
- [10] Vanblaere, T., Szankowski, I., Schaart, J., Schouten, H., Flachowsky, H., Brogini, G. A., Gessler, C. (2011) The development of a cisgenic apple plant. *J Biotechnol* 154, 304-311.
- [11] Baev, V., Naydenov, M., Apostolova, E., Ivanova, D., Doncheva, S., Minkov, I., Yahubyan, G. (2010) Identification of RNA-dependent DNA-methylation regulated promoters in *Arabidopsis*. *Plant Physiol Biochem* 48, 393-400.
- [12] Law, J. A., Jacobsen, S. E. (2010) Establishing, maintaining and modifying DNA methylation patterns in plants and animals. *Nat Rev Genet* 11, 204-220.
- [13] Schmitz, R. J., Zhang, X. (2011) High-throughput approaches for plant epigenomic studies. *Curr Opin Plant Biol* 14, 130-136.
- [14] Ghanem, M. E., Albacete, A., Smigocki, A. C. et al (2011) Root-synthesized cytokinins improve shoot growth and fruit yield in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *J Exp Bot* 62, 125-140.
- [15] Stegemann, S., Bock, R. (2009) Exchange of genetic material between cells in plant tissue grafts. *Science* 324, 649-651.
- [16] Dirks, R., van Dun, K., de Snoo, C. B. et al, (2009) Reverse breeding: a novel breeding approach based on engineered meiosis. *Plant Biotechnol J* 7, 837-845.
- [17] Wijnker, E., van Dun, K., de Snoo, B. et al. (2012) Reverse breeding in *Arabidopsis thaliana* generates homozygous parental lines from a heterozygous plant. *Nat Genet* 44, 467-70.
- [18] Chan, S. W. L. (2010) Chromosome engineering: power tools for plant genetics. *Trends Biotechnol* 28, 605-610.
- [19] Gibson, D. G., Glass, J. I., Lartigue, C. et al (2010) Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. *Science* 329, 52-56.

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

Bedeutung der Grünen Gentechnologie für die Ernährungssicherung in Drittweltländern

Die Pflanzenbiotechnologie kann wesentliche Beiträge zur Lösung dringender weltweiter Ernährungsprobleme leisten. Jedoch sind die Zulassungsbedingungen für gentechnisch veränderte Produkte ungleich strenger als für andere. Das wirft moralische Fragen auf.

Die sogenannte «Grüne Gentechnologie» wurde entwickelt, um die wissenschaftlichen Erkenntnisse in der molekularen Biologie und Genetik dem Menschen für die Lösung praktischer Probleme nutzbar zu machen. Diese Entwicklung vollzog sich in enger Zusammenarbeit zwischen universitärer und privater Forschung, zwischen öffentlichem und privatem Sektor. Als dann der Agrokonzern Monsanto mit transgenen Sojabohnen auf den Markt drängte, entwickelte sich in der europäischen Öffentlichkeit eine zunehmend

einflussreichere, radikale Opposition gegen die Gentechnologie.

Die Grüne Gentechnologie hat den Ruf einer Technologie, die den Interessen eines Agrarmultis dient.

Von diesem Zeitpunkt an hatte die Grüne

Gentechnologie den Ruf einer Technologie, die den Interessen eines Agrarmultis dient und die Nahrungsmittelversorgung der Welt in einem Oligopol weniger Firmen konzentriert. Verstärkt wurden diese Befürchtungen durch die Patentierung der Produkte, den Aufkauf mittelständischer Be-

teiligungsgesellschaften und Saatgutfirmen sowie die Konzentration auf wenige, international tätige Konzerne.

Das Publikum glaubt, dass Nichtregierungsorganisationen keine Eigeninteressen vertreten.

Vor diesem Hintergrund war es für die Anti-Gentechnik-Lobby ein Leichtes, Medien, Politiker und Öffentlichkeit davon zu überzeugen, dass es eine moralische Pflicht sei, diese Entwicklung zu unterbinden. In diesem Kampf gegen die Grüne Gentechnik waren die erfolgreichsten Mittel: eine

Ingo Potrykus

Professor emeritus, Institut für Pflanzenwissenschaften
ETH Zürich

spezifische gesetzliche Regulierung des Umgangs mit transgenen Pflanzen, das mediale Verbreiten von hypothetischen Risikoszenarien, Vandalismus gegen Freisetzung sowie das Einwerben finanzieller Unterstützung für Anti-Gentechnik-Kampagnen. Zusätzlich wurden Wissenschaftler, welche die Technologie verteidigten, als «willfähige Gehilfen der Agrobiotech-Multis» diskreditiert. Im Gegenzug glaubt das Publikum gern, dass Nichtregierungsorganisationen (NGOs) keine Eigeninteressen vertreten und deren Aussagen deshalb glaubwürdiger wären. Weil es für Medien, Politiker und die Bevölkerung nicht möglich ist, zu beurteilen, welche Meinung der Wahrheit entspricht, entwickelte sich auch rasch ein Markt von Experten, die nicht über ausreichende wissenschaftliche Qualifikation verfügen.

Dabei sollte jeder, der sich ideologiefrei informieren möchte, erkennen können, dass wissenschaftliche Akademien die beste Gewähr bieten, wissenschaftliche Erkenntnisse wertfrei wiederzugeben.

Studiert man dann die Publikationen wissenschaftlicher Akademien zum Thema «transgene Pflanzen», erhält man ein Bild, welches kaum weiter von der öffentlichen Meinung abweichen könnte. Ein Beispiel unter vielen für diese Diskrepanz zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und öffentlicher Meinung ist eine Publikation der Päpstlichen Akademie der Wissenschaften.^[1] Sie ist das Ergebnis einer Studienwoche im Vatikan im Mai 2009 zum Thema «Transgene Pflanzen für die Ernährungssicherung im Kontext der internationalen Entwicklung». Da hier nur Raum für eine extrem geraffte Zusammenfassung ist, verweise ich auf die leicht zugängliche deutsche Übersetzung einer Zusammenfassung.^[2]

- Bevölkerungsentwicklung, Klimawandel und Abnahme landwirtschaftlicher Ressourcen belasten die künftige Ernährungssicherung dramatisch.

- Verantwortungsvoller Einsatz transgener Pflanzen kann dazu beitragen, diese Herausforderung zu bewältigen.
- Es gibt keine technologie-inhärenten Faktoren, die gentechnisch veränderte Pflanzen oder Nahrungsmittel unsicher oder gefährlich machen.
- In geeigneter Weise und verantwortlich angewandt kann Gentechnologie wesentliche Beiträge zur Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktivität und der Nahrungsmittelqualität leisten.
- Die Geschichte der genetischen Verbesserung von Nutzpflanzen stellt ein Kontinuum von zunehmend präziseren und vorhersagbareren Techniken dar.
- Der herausragende Nutzen der Technologie ist in der Praxis vielfältig belegt.
- Gentechnisch veränderte Pflanzen können grosse Bedeutung für Kleinbauern und gefährdete Mitglieder armer Landbevölkerungen, insbesondere für Frauen und Kindern, haben.
- Gentechnologie kann schädliche, energieaufwendige Bodenbearbeitungsmassnahmen, unter gleichzeitiger Erhöhung der Biodiversität, reduzieren.
- Die vorhersagbaren Auswirkungen des Klimawandels erfordern, die Gentechnologie in Verbindung mit anderen Züchtungstechniken einzusetzen.
- Die kostspieligen regulatorischen Verfahren müssen auf solche umgestellt werden, die wissenschaftlich begründbar sind.

«Es ergibt sich ein moralischer Imperativ, die Vorteile der Gentechnologie in grösserem Rahmen armen und benachteiligten Bevölkerungsschichten verfügbar zu machen.»

Päpstliche Akademie der Wissenschaften

- Die gegenwärtig in der universitären Forschung laufenden Anstrengungen zur Gewinnung verbesserter, gentechnisch veränderter Sorten verdienen höchste Unterstützung.
 - Die Herausforderung erfordert Lösungsansätze mit hoher Dringlichkeit. Verpasste Hilfe ist nicht wiedergutzumachen.
 - Aus dem Gesagten ergibt sich ein moralischer Imperativ, die Vorteile der Gentechnologie in grösserem Rahmen armen und benachteiligten Bevölkerungsschichten verfügbar zu machen, ihren Lebensstandard zu erhöhen, ihre Gesundheit zu verbessern und ihre Umwelt zu schützen.
- Studiert man die Publikationen wissenschaftlicher Akademien zum Thema transgene Pflanzen, erhält man ein Bild, welches kaum weiter von der öffentlichen Meinung abweichen könnte.**
- hauptsächlich von Reis abhängt. Die Versorgung mit Vitamin A ist für rund 190 Millionen Kinder und 19 Millionen schwangere Frauen ein Problem. Schliesslich haben wir den sogenannten «Golden Rice» entwickelt, der Provitamin A in Mengen enthält, die ausreichen, um Vitamin-A-Mangel dieser Menschen mit einer halben Tasse Reis pro Tag als Teil der normalen Nahrung zu beheben.^[3] Die momentane Planung sieht so aus, dass «Golden Rice»-Sorten ab 2013 kostenlos an Subsistenzbauern auf den Philippinen abgegeben werden sollen. Es folgen Bangladesh 2014, Indien und Vietnam 2015, Indonesien und China bis ins Jahr 2016.

Welche enormen negativen Konsequenzen die etablierte Regulation und die Aktivitäten der Gentechnik-Gegner auf Leben und Gesundheit vieler Millionen Armer in Entwicklungsländern haben können, lässt sich anhand eines konkreten Projekts aufzeigen, das einzig öffentliche und humanitäre Interessen verfolgt.

Das Projekt «Golden Rice»

Die wissenschaftlichen Grundlagen für einen Reis, der erhöhte Mengen an Provitamin A enthält, haben wir zwischen 1991 und 1999 an der ETH Zürich, in Zusammenarbeit mit der Universität Freiburg/Breisgau (D), gelegt. Das Projekt wurde mit öffentlichen Mitteln finanziert. Ziel war es, einen Beitrag zur Verringerung des Vitamin-A-Mangels von armen Bevölkerungsschichten zu leisten, deren Ernährung

Enorm hohe Hürden

Der beste wissenschaftliche Durchbruch ist wertlos, solange daraus nicht ein Produkt entwickelt wird, das den Bedürftigen zugänglich ist. Leider mussten wir im Verlauf der vergangenen zwölf Jahre erfahren, was es bedeutet, ein gentechnisch verändertes Produkt als Allgemeingut verfügbar zu machen. Die Lehren aus diesem Projekt sind die Folgenden:

- Der öffentliche Sektor hat weder Erfahrung noch Kompetenz und Mittel, ein gentechnisch verändertes Produkt zu entwickeln. Zur Lösung empfehlen sich «Public-private-Partnerships» wie für den «Golden Rice» angewandt.
- Die Entwicklung eines gentechnisch veränderten Produkts erfordert wegen der Auflagen und Anforderungen der gesetzlichen Regulation zehn bis zwölf Jahre länger als die eines vergleichbaren gentechnikfreien Produkts.

- Die Kosten für die Entwicklung und Deregulation eines gentechnisch veränderten Produkts sind zehnmal höher als die eines gentechnikfreien Produkts. Für «Golden Rice» betrugen sie mehr als 20 Millionen Euro.
- Diese Situation hat zur Folge, dass es aus Kosten- und Zeitgründen für Institutionen des öffentlichen Bereichs oder kleine und mittlere Unternehmen nicht mehr möglich ist, gentechnisch veränderte Produkte zu entwickeln. Dies hat zur Folge, dass die Gentechnologie unter wirtschaftlich attraktiven Bedingungen nur zur Lösung solcher Probleme infrage kommt, für die ein zu erwartender Return on Investment von mehr als 35 Millionen Euro eingesetzt werden kann.
- Das grosse Potenzial der Technologie zur Lösung dringender Probleme im Interesse der Allgemeinheit kann nicht zum Tragen kommen, solange die etablierte rechtliche Regulation aufrechterhalten wird.
- «Golden Rice» ist die Ausnahme, welche die Regel bestätigt. Er ist ein Produkt der öffentlichen Hand und er ist Allgemeingut zur Lösung eines öffentlichen Problems. Aber es ist abzu-sehen, dass für weitere vergleichbare Projekte nicht noch einmal mit einer derart grosszügigen Unterstützung von wohltätigen Stiftungen und dem privaten Sektor zu rechnen ist.
- «Golden Rice» hat das Potenzial, allein in Indien jedes Jahr etwa 40'000 Kinder vor dem Erblinden und dem Tod zu bewahren; in den zuvor erwähnten Ländern zusammengekommen mehrere Hunderttausend. Die rechtliche Regulation für gentechnisch veränderte Produkte hat die Verzögerung der Anwendung um mehr als zehn Jahre zu verantworten – und damit auch den Tod und das Erblinden von vielen Millionen Menschen.

LITERATUR

- [1] Potrykus, I., Ammann, K. (2010) Transgenic Plants for Food Security in the Context of Development. Proceedings of a study week of the Pontifical Academy of Sciences. New Biotechnol. 27(5), 443-717.
- [2] Transgene Pflanzen für die Ernährungssicherung im Kontext der internationalen Entwicklung. Forum Grüne Vernunft e.V. Die Broschüre kann über info@gruenevernunft.de kostenlos bezogen oder im Web heruntergeladen werden.
- [3] Homepage des «Golden Rice»-Projekts: www.goldenrice.org

Das Literaturverzeichnis mit Internet-Links ist auf der beiliegenden CD zu finden.

PROJEKTVERZEICHNIS

Projektname	Projekttitel
Anhaftung von Bt-Proteinen an mineralische und organische Bodenoberflächen	Adhäsion von transgenen Cry-Proteinen an mineralische und organische Bodenoberflächen: Auswirkungen auf das Schicksal und die Bioaktivität von transgenen Produkten in der Umwelt
Auswirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen auf die Fruchtbarkeit von Böden	Auswirkungen transgener Pflanzen auf die Fruchtbarkeit von Böden mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsgeschichte
Bewertung von Umwelteffekten gentechnisch veränderter Pflanzen	Bewertung von Umwelteffekten gentechnisch veränderter Pflanzen – ökologische und ethische Entscheidungskriterien für deren Regulierung
Die Grüne Gentechnologie in der Öffentlichkeit	Die Grüne Gentechnologie in der Öffentlichkeit
Einfluss von gentechnisch verändertem Weizen auf Bodenbakterien	Einfluss von genetisch modifiziertem Weizen auf die Diversität und Funktion von Pflanzenwachstum fördernden Bodenbakterien
Einfluss von gentechnisch verändertem Weizen auf den Abbau von Biomasse durch Bodenorganismen	Einfluss des Anbaus von GV-Weizen auf den Abbau von GV-Biomasse durch Bodenarthropoden und Anneliden
Einfluss von gentechnisch verändertem Weizen auf Insektennahrungsnetze	Einfluss von transgenem Weizen auf herbivore Insekten und Insektennahrungsnetze
Fairness, Affekte, Vertrauen und Akzeptanz von GVP	Fairness, Affekte, Vertrauen und Akzeptanz von GV-Pflanzen
Feldarbeit und Logistik des Freilandversuchs mit gentechnisch verändertem Weizen	Feldarbeit und Logistik

Projektleitung

Prof. Dr. René Schwarzenbach

Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik
ETH Zürich

Dr. Michael Sander

Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik
ETH Zürich

Dr. Paul Mäder

Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)
Frick

Dr. Franz Bigler

Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
Zürich

Prof. Dr. Klaus Peter Rippe

Ethik im Diskurs
Zürich

Prof. Dr. Heinz Bonfadelli

Institut für Publizistikwissenschaft
und Medienforschung (IPMZ)
Universität Zürich

Dr. Monika Maurhofer

Institut für Integrative Biologie
ETH Zürich

Dr. Christoph Keel

Département de microbiologie fondamentale
Université de Lausanne

Prof. Dr. Wolfgang Nentwig

Institut für Ökologie und Evolution
Universität Bern

Dr. Jörg Romeis

Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
Zürich

Prof. Dr. Michael Siegrist

Institut für Umweltentscheidungen
ETH Zürich

Prof. Dr. Beat Keller

Institut für Pflanzenbiologie
Universität Zürich

Projektname	Projekttitel
Fischimpfung mit transgenen Grünalgen	Fischimpfung mit transformierten Chloroplasten von Chlamydomonas, welche bakterielle Antigene exprimieren
Funktion des Gens für Mehltaresistenz in gentechnisch verändertem Weizen	Analyse der Funktion des Pm3-Resistenzgens in transgenem Weizen
Gentechnologie im Schulzimmer (Part A)	Schweizer Bildungspolitik und Agrarbiotechnologie: die Herausforderung, Schüler zu einem eigenen moralischen Urteil zu befähigen
Gentechnologie im Schulzimmer (Part B)	Schweizer Bildungspolitik und Agrarbiotechnologie: die Herausforderung, Schüler zu einem eigenen moralischen Urteil zu befähigen
Grundlagen für Schutzziele beim Umgang mit gentechnisch veränderten Pflanzen	Grundlagen für Schutzziele beim Umgang mit gentechnisch veränderten Pflanzen
Impfstoff aus Tabakpflanzen	Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen für die Schweiz: Entwicklung und Herstellung einer GV-Pflanze, die den Bedenken und Bedürfnissen der Schweiz Rechnung trägt
Interaktionen von Bt-Mais mit dem Bodenökosystem	Multitrophische Interaktionen von transgenem Bacillus-thuringiensis-(Bt)-Mais mit dem Bodenökosystem
Interaktionen von Wurzelpilzen mit gentechnisch verändertem Weizen	Wechselspiel von arbuskulären Mykorrhizapilzen mit transgenem und nichttransgenem Weizen
Konzepte zum Vollzug der öffentlichen Information gemäss Gentechnikgesetz	Konzepte zum Vollzug der öffentlichen Information gemäss GTG: Harmonisierung politisch-sozialer-Bedenken, Rechtsvorschriften und wissenschaftlicher Erkenntnisse

Projektleitung

Prof. Dr. Michel Goldschmidt-Clermont
Département de biologie moléculaire et
Département de botanique et biologie végétale
Université de Genève

Prof. Dr. Joachim Frey
Vetsuisse-Fakultät
Universität Bern

Prof. Dr. Beat Keller
Institut für Pflanzenbiologie
Universität Zürich

Prof. Dr. Fritz Oser
Département des sciences de l'éducation
Université de Fribourg

Dr. Philipp Aerni
Institut für Umweltscheidungen
ETH Zürich

PD Dr. Daniel Ammann
daniel ammann consulting dacon
Zürich

Dipl. Ing. Hans Bohnenblust
Ernst Basler + Partner AG
Zollikon

Prof. Dr. Felix Kessler
Institut de botanique
Université de Neuchâtel

Dr. Claudia Zwahlen
Institut de biologie
Université de Neuchâtel

Prof. Dr. Ted Turlings
Institut de biologie
Université de Neuchâtel

Prof. Dr. Thomas Boller
Botanisches Institut
Universität Basel

Prof. Dr. Rainer J. Schweizer
Rechtswissenschaftliche Abteilung
Universität St. Gallen

Projektname	Projekttitel
Kosten-Nutzen-Analyse der Legalisierung von GVO	Coexist: Integrierte Kosten-Nutzen Analyse der Legalisierung von GVO und anschliessender Koexistenz im Schweizer Ackerbau
Literaturstudie Gesellschaft, Agrarökonomie und Koexistenz in Europa	Genetically Modified Crop Production: Social Sciences, Agricultural Economics, and Costs and Benefits of Coexistence
Literaturstudie Gesundheit	Medical Issues Related to Genetically Modified Plants of Relevance to Switzerland
Literaturstudie Ökologie und Risiko	Synthesis and Overview Studies to Evaluate Existing Research and Knowledge on Biological Issues on GM Plants of Relevance to Swiss Environments
Modell zur Voraussage der Saatgutverunreinigung	Die Reinheit des Saatguts als einer der Schlüssel zur Festlegung angemessener Grenzwerte für eine funktionierende Koexistenz
Ökologie und molekulare Analyse von gentechnisch verändertem Weizen	Resistenz gegen Mehltau und andere Schadpilze. Feldverhalten und molekulare Analyse von GV-Weizen mit zwei Genen aus Gerste

Projektleitung	
Dr. Stefan Mann Agroscope Reckenholz-Tänikon ART Tänikon, Ettenhausen	
Prof. Dr. Joachim Scholderer Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59 Abteilung für Marketing und Statistik Aarhus School of Business Aarhus (DK)	Prof. Dr. Wim Verbeke Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59 Abteilung für Landwirtschaftsökonomie Universität Gent (B)
Dr. Karoline Dorsch-Häsler Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59 Ehem. Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit Ittigen	Univ.-Doz. Dr. Karin Hoffmann-Sommergruber Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59 (bis August 2007) Institut für Pathophysiologie Universität Wien (A)
Prof. Dr. Detlef Bartsch Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59 Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit Berlin (D)	Dr. Jeremy Sweet Mitglied der Leitungsgruppe NFP 59 Umwelt- und Forschungsberater Cambridge (UK)
Prof. Dr. Peter Stamp Institut für Pflanzenwissenschaften ETH Zürich Dipl. Biol. Bernadette Oehen Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) Frick	Dr. Christian Ochsenbein Schweizer Hochschule für Landwirtschaft (SHL) Zollikofen
PD Dr. Christof Sautter Institut für Pflanzenwissenschaften ETH Zürich	Dr. Fabio Mascher-Frutschi Agroscope Changins-Wädenswil ACW Nyon

Projektname	Projekttitel
Ökologische Konsequenzen der Übertragung von Transgenen aus Weizen in eine verwandte Wildgrasart	Genetische und ökologische Konsequenzen von Introgression von transgenem Weizen in einen wilden Verwandten, <i>Aegilops cylindrica</i> : ein offenes Feldexperiment
Ökologisches Verhalten von gentechnisch verändertem Weizen	Das ökologische Verhalten von GV- und Nicht-GV-Weizen in verschiedenen abiotischen und biotischen Umwelten
Populationsdynamik von Wurzelpilzen an transgenen Erdbeeren	Populationsdynamik von arbuskulären Mykorrhizapilzen unter transgenen Erdbeeren und ihren verwandten Wildarten
Präferenzen für gentechnisch veränderte Nahrungsmittel in Direktmarketing-Experimenten	Offenbarte Präferenzen von gentechnisch veränderten Nahrungsmitteln in Direktmarketing-Experimenten in der Schweiz: Spielt es eine Rolle, wer sie verkauft?
Rechtliche Rahmenbedingungen für die Grüne Gentechnologie	Koexistenz von Pflanzenproduktion mit und ohne Gentechnik – Möglichkeiten der rechtlichen Regulierung und der praktischen Umsetzung
Schorfresistente Äpfel	Gentechnisch veränderte Äpfel, die mit nur apfeleigener DNA gegen Apfelschorf resistent sind
Transgene Erdbeeren und ihre verwandten Wildarten	Transgene Erdbeeren und ihre verwandten Wildarten – ein mögliches Modell für Aussterben durch Hybridisierung
Übertragung von Transgenen aus Weizen in verwandte Wildgrasarten	Übertragungspotenzial von transgenen Sequenzen vom Weizen zu den verwandten Wildgrasarten <i>Aegilops</i> sp.
Vergleich von GVP in konventioneller, integrierter und biologischer Landwirtschaft	Vergleichende Systemanalyse des Einflusses von GV-Pflanzen in schweizerischen konventionellen, integrierten und biologischen Landwirtschaftssystemen

Projektleitung	
PD Dr. François Felber Musée et Jardins botaniques cantonaux Université de Lausanne	
Prof. Dr. Bernhard Schmid Institut für Evolutionsbiologie und Umweltwissenschaften Universität Zürich	
Prof. Dr. Andres Wiemken Botanisches Institut Universität Basel	
Dr. Philipp Aerni Institut für Umweltentscheidungen ETH Zürich	
Prof. Dr. Rainer J. Schweizer Rechtswissenschaftliche Abteilung Universität St. Gallen	
Prof. Dr. Cesare Gessler Institut für Integrative Biologie ETH Zürich	
Prof. Dr. Andreas Erhardt Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz Universität Basel	
PD Dr. François Felber Musée et Jardins botaniques cantonaux Université de Lausanne	Dr. Roberto Guardagnuolo Laboratoire de botanique évolutive Université de Neuchâtel
Dr. Lucius Tamm Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) Frick	

GLOSSAR

Adsorption | Generell: Anhaften von Teilchen oder Molekülen an Oberflächen. Hier speziell: Anreicherung von Proteinen an der Oberfläche eines Bodenpartikels. Dessen poröse, schwammartige Struktur kann Moleküle (wie Proteine) festhalten und für eine bestimmte Zeitdauer speichern.

Agrarpolitische Instrumente | Befugnisse des Bundes, mit denen er die Landwirtschaft beeinflussen kann. Beispiele: Direktzahlungen für bestimmte Leistungen, Einfuhrzölle, Bewilligungen für Produktionsmittel.

Allele | Unterschiedliche Varianten eines bestimmten Gens

Alpha-Amylase-Inhibitor | Ein Protein, das manche Pflanzen produzieren, um den Stärkeabbau durch das → Enzym Alpha-Amylase und damit die Verdauung von Insekten und anderen Tieren zu stören. Mit dieser Abwehrstrategie werden Fressfeinde abgeschreckt.

Ammoniak | Ein Gas, das bei der Zersetzung von tierischen Exkrementen, Jauche oder anderen organischen Substanzen entsteht. In der Atmosphäre verbindet es sich mit Schwefel- oder Salpetersäure aus Industrie- und Verkehrsabgasen. Dabei entstehen unter anderem Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat, die mit dem Regenwasser in den Boden gelangen und dort auf Pflanzen eine düngende Wirkung haben.

Anneliden | Ringelwürmer; die bekanntesten sind die Regenwürmer.

Antibiotikaresistenz | Einige Mikroorganismen besitzen Gene, die sie resistent gegen Antibiotika machen. Diese Resistenzgene dienen bei der Herstellung gentechnisch veränderter Organismen als sogenannte Marker, die zusammen mit dem gewünschten Gen eingesetzt werden. Gibt man nach dem gentechnischen Eingriff Antibiotika zu den Zellen, überleben nur jene, welche resistent sind, also den Marker und das Gen eingebaut haben. So erkennt man die Zellen, bei denen der → Gentransfer erfolgreich war.

Antibiotikaresistenzmarker (ARMG) | → Antibiotikaresistenz.

Antikörper | Proteine, die im Blut zirkulieren und von Immunzellen gebildet werden. Sie sind Teil der spezifischen Abwehr des Immunsystems und haften sich an unerwünschte Eindringlinge wie beispielsweise Bakterien oder Viren, aber auch an körperfremde Stoffe. So werden diese von den sogenannten Fresszellen des Immunsystems erkannt und verdaut.

Apfelschorf | Erkrankung von Apfelbäumen, verursacht durch den Pilz *Venturia inaequalis*. Dieser sorgt weltweit für grosse Verluste in Apfelkulturen.

Arthropoden | Gliederfüßer, die auf/im Boden oder auch im Wasser leben. Dazu zählen zum Beispiel Insekten, Spinnen, Milben und Krebse.

Auskreuzung | Genetische Übertragung von Eigenschaften eines Individuums auf ein anderes, bei Pflanzen vor allem durch Pollen.

Bacillus thuringiensis | Natürlicherweise im Boden vorkommendes Bakterium. Die verschiedenen Stämme produzieren verschiedene Proteine (→ Cry-Proteine), die anderen Bodenlebewesen möglicherweise schaden könnten.

Biogeochemischer Kreislauf | Ein biologischer, chemischer oder physikalischer Kreislauf, auf dem das Ökosystem basiert. Dazu zählen zum Beispiel der Wasserkreislauf, der Kohlenstoffkreislauf oder der Stickstoffkreislauf.

Biolistische Genübertragung | Eine Methode der → Gentechnik, bei der → DNA an winzige Gold- oder Wolframpartikel gebunden und anschliessend mit hohem Druck in den Zellkern oder die → Chloroplasten einer Pflanze geschossen werden. Dort löst sie sich vom Partikel ab und verbindet sich mit dem → Erbgut der Pflanze.

Biotechnologie | Jene Technologie, die auf lebenden Organismen oder biologischen Systemen beruht. Darunter fällt die Gentechnologie ebenso wie die Herstellung von Joghurt.

Bobwhite | Eine konventionell gezüchtete, mexikanische Weizensorte (→ Sorte), die sehr anfällig gegen den im Feldversuch untersuchten → Mehltau ist und sich besser als die meisten anderen Weizensorten gentechnisch verändern lässt.

Bt-Mais | Gentechnisch veränderter Mais, der ein Gen des Bodenbakteriums → *Bacillus thuringiensis* enthält. Heute werden weltweit viele verschiedene Bt-Maissorten (→ Sorte) kommerziell eingesetzt. Diese Sorten produzieren ein für Schädlinge giftiges Protein. Am bekanntesten sind jene, die gegen den → Maiszünsler resistent sind.

Caryophyllen | Duftstoff, der von Mais abgegeben wird, wenn ein Schädling an der Pflanze frisst.

Chitinase | Ein → Enzym, das Chitin auflöst und deshalb auch die Zellwände von Pilzen zerstören kann. Pflanzen stellen es wahrscheinlich her, um sich beispielsweise gegen den Erreger des → Mehltaus zur Wehr zu setzen.

Chlamydomonas | Gattung einzelliger Grünalgen.

Chloroplasten | Organellen von Pflanzenzellen, in denen die Pflanze Photosynthese betreibt. Dabei wird aus Kohlendioxid und Wasser mittels Licht Traubenzucker und Sauerstoff produziert.

Cisgen | → Cisgenese

Cisgenese | Die genetische Veränderung einer Empfängerpflanze mit einem oder mehreren Genen aus der gleichen oder einer mit der Empfängerpflanze kreuzbaren Pflanze. Bei der Cisgenese wird das Gen unverändert in das neue Genom übertragen. Dabei wird der → Gentransfer so durchgeführt, dass im Empfänger keine grösseren fremden DNA-Abschnitte (→ DNA) verbleiben.

Codex Alimentarius | Eine Sammlung von Normen und Sicherheitsanforderungen für die Nahrungsmittelindustrie, die von der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation FAO und der Weltgesundheitsorganisation WHO herausgegeben wird. Damit soll die Sicherheit und die Qualität von Lebensmitteln garantiert werden.

Cry-Protein | Protein, das von den verschiedenen Stämmen des Bakteriums → *Bacillus thuringiensis* produziert wird und für gewisse Insekten giftig ist. Cry steht für «crystal». Bis jetzt sind über 170 Varianten dieses Proteins bekannt. Eines davon ist das Cry1Ab, das für die Larven des → Maiszünslers tödlich ist. Ein anderes ist das Cry3Bb1, das gegen den westlichen → Maiswurzelbohrer wirkt.

Cytokine | Sammelbegriff für eine Familie von Proteinen, die das Wachstum von Zellen regulieren.

Dehydrogenasen | → Enzyme, die ein einzelnes Wasserstoffatom von einer chemischen Verbindung abspalten. Die Dehydrogenaseaktivität kann als allgemeines Mass für die biologische Aktivität des Bodens eingesetzt werden.

Deletion | Eine Form der genetischen Veränderung, bei der ein Stück des → Erbguts entfernt wird. Von einer Deletion können nur einzelne Basen der → DNA oder größere Basensequenzen, d. h. ganze Abschnitte eines Chromosoms, betroffen sein.

Diploid | Die meisten Zellen sind diploid, das heisst, das → Erbgut liegt in doppelter Form in der Zelle vor. Also ist auch jedes Gen doppelt vorhanden, mit je einer Kopie von Vater und Mutter. (→ octoploid)

Direktsaat | Aussaat ohne vorherige Bearbeitung des Bodens mit dem Pflug.

DNA | Desoxyribonukleinsäure (engl. Deoxyribonucleic Acid) ist ein langkettiges, in allen Lebewesen vorkommendes Biomolekül, das die Erbinformation trägt.

Dominant | Die meisten Lebewesen besitzen jedes Gen doppelt, nämlich eines vom Vater und eines von der Mutter. Bei der Ausprägung eines bestimmten Merkmals wie zum Beispiel der Augenfarbe kommt es darauf an, welches von beiden Genen das stärkere (dominante) ist. So haben Kinder, die vom Vater ein Gen für braune Augen und von der Mutter eines für blaue Augen vererbt bekamen, braune Augen, weil das entsprechende Gen dominant ist.

Enzym | Ein Protein, das eine chemische Reaktion beschleunigt und als Biokatalysator funktioniert, indem es den Ausgangsstoff umbaut und die entstandenen Endprodukte abgibt, ohne dabei selbst verbraucht zu werden.

Enzymatisch | → Von Enzymen bewirkt.

Erbgut | Die Gesamtheit der vererbaren Information eines Lebewesens. Das Erbgut besteht, abhängig vom Organismus, aus → DNA oder → RNA und definiert zum Beispiel, wie ein Lebewesen aussieht, welche Nahrung es braucht oder wie gross es ist.

Erkennungsmarker | Sobald in der EU ein gentechnisch veränderter Organismus zum Verkehr zugelassen ist, muss er auf seiner Etikettierung einen spezifischen Erkennungsmarker tragen. Aufgrund dieser Information kann das Produkt zum Hersteller zurückverfolgt werden.

Exonuklease | Ein → Enzym, das Erbgutfragmente (→ Erbgut) abbauen kann, indem es vom Ende her Baustein um Baustein abspaltet, bis nur noch seine Einzelteile übrig sind.

Expression | Ein exprimiertes Gen ist eingeschaltet, das heisst, die Information, welche das Gen enthält, wird gelesen und in Proteine übersetzt. Abgeschaltete Gene werden nicht exprimiert, das heisst, ihre Information ist zwar vorhanden, wird jedoch nicht abgelesen.

Exprimieren | → Expression.

Fadenwürmer | Kleine, weisse bis farblose, fadenförmige Würmer (lateinisch: *Nematoda*), die in feuchter Umgebung, zum Beispiel in Erde, leben.

Frisal | Eine konventionell gezüchtete, schweizerische Sommerweizensorte (→ Sorte). Sie ist seit 2006 nicht mehr im offiziellen Sortenkatalog enthalten, da sie von neuen, besseren Sorten verdrängt wurde. Frisal ist im Keimlingsstadium anfällig für → Mehltau, hat aber als erwachsene Pflanze eine gute → Resistenz.

Fruchtfolge | Die abwechselnde Reihenfolge der auf einem Acker angebauten Nutzpflanzen. Der Anbau unterschiedlicher Pflanzen führt zu einem differenzierten Auf- und Abbau der im Boden enthaltenen Nähr- und Mineralstoffe, wodurch sie langfristig erhalten bleiben. Eine sinnvoll gestaltete Fruchtfolge vermindert darüber hinaus den Befall der Kulturen durch Unkräuter, Pflanzenkrankheiten und einige tierische Schädlinge.

Fungizid | Chemischer oder biologischer Wirkstoff, der Pilze und ihre Sporen abtötet oder ihr Wachstum hemmt.

Furunkulose | Krankheit der Edelfische (Forellen, Lachse), verursacht durch das Bakterium *Aeromonas salmonicida ssp. salmonicida*.

Gaucher-Krankheit | Eine Erbkrankheit des Menschen, die sich in einer Störung des Fettstoffwechsels der Zellen äussert. Dabei kommt es zu Entzündungen der inneren Organe oder des Skeletts. Im schlimmsten Fall werden die Knochen angegriffen und die Betroffenen können nicht mehr gehen.

Gelelektrophorese | Eine Methode, mit der sich DNA-Fragmente (→ DNA) oder Proteine voneinander trennen lassen. Die Fragmente werden mittels elektrischer Spannung durch ein gelartiges Sieb getrieben. Dabei bewegen sich grössere Moleküle langsamer als kleinere und können alle Fragmente ihrer Grösse nach aufgetrennt werden.

Genfluss | Die Weitergabe von Genen einer Population in eine andere Population. Bei Pflanzen geschieht dies mittels Pollenflug durch den Wind oder via bestäubende Insekten. Der Austausch von Genen zwischen Kultur- und Wildsorten (→ Sorte) ist ein natürlicher Vorgang (→ Auskreuzung).

Gentechnik | Zusammenfassung von Methoden, die es ermöglichen, einzelne Gene ein- oder auszuschalten, sie zu isolieren und in einen anderen Organismus einzubauen. Aufgrund dieser Genveränderungen weist das betroffene Lebewesen neue Eigenschaften auf.

Gentechnisch veränderte Organismen (GVO) | Lebewesen, deren → Erbgut mittels → Gentechnik verändert worden ist, wie es natürlicherweise durch Kreuzen oder natürliche Rekombination nicht möglich ist

Gentransfer | Übertragung von einem oder mehreren Genen mittels gentechnischer Methoden in das → Erbgut eines Individuums der gleichen oder einer anderen Art (Pflanze, Tier, Bakterium).

Genvektor | Der Oberbegriff für alle Transportvehikel, mit denen sich ein Gen in das → Erbgut einer Zelle einschleusen lässt. Dazu zählen Viren, → Plasmide und Bakterien.

Getreidehalmfliege | Eine Fliege, deren Larven sich durch das Innere von Weizenpflanzen fressen und so die gesunde Entwicklung der Ähre verhindern.

Gladiinfraktion | Bestandteil von Gluten, der in den Körnern mancher Getreidearten vorkommt und allergische Reaktionen auslösen kann.

Glucanase | Ein → Enzym, das die sogenannten Glucane zersetzt. Glucane sind riesige Zuckermoleküle, die zusammen mit Chitin die Zellwand von Pilzen bilden. Pflanzen, die eine Glucanase produzieren, können sich so gegen Angriffe von Pilzen zur Wehr setzen.

Glykosylierung | Das Anhängen von Zuckermolekülen an Proteine.

Glykosylierungsmuster | → Glykosylierung.

Glyphosat | Ein → Herbizid, das weltweit zur Unkrautbekämpfung eingesetzt wird.

Golden Rice | Eine Reissorte (→ Sorte), deren Körner Forschende der ETH Zürich und der Universität Freiburg i. Br. durch gentechnische Verfahren mit Provitamin A angereichert haben. Das Ziel ist die Behebung des chronischen Vitamin-A-Mangels in der Bevölkerung vieler Entwicklungsländer.

Grüne Gentechnologie/Gentechnik | Die Farbcodes «grün», «rot» und «weiss» grenzen die einzelnen Bereiche der → Gentechnik voneinander ab. So steht «grün» für die gentechnische Veränderung von Pflanzen. Die anderen beiden Farben stehen für die medizinische respektive für die mikrobiologische Anwendung.

Grüne Revolution | Die in den späten 1950er-Jahren begonnene Züchtung von landwirtschaftlichen Hochleistungsorten (→ Sorte) und deren erfolgreiche Verbreitung in Entwicklungsländern. Unter anderem wurden bei Mais, Weizen und Reis durch konventionelle Zucht der Wuchs (z. B. Pflanzenlänge), der Ertrag und die Krankheitsresistenz markant verbessert.

Herbizid | Eine chemische Substanz, die unerwünschte Pflanzen (Unkraut) abtötet. Eine Nutzpflanze kann gentechnisch tolerant gegenüber einem bestimmten Herbizid gemacht werden. In diesem Fall ist es das Komplementärherbizid dieser Nutzpflanze. Der Landwirt kann es nun zur Unkrautbekämpfung einsetzen, ohne dabei der Nutzpflanze selbst zu schaden.

Hilfsagen | → Markergen.

Hybridmolekül | Ein aus mehreren Elementen gentechnisch zusammengesetztes Stück → Erbgut.

Hybridpflanzen | Pflanzen, deren Eltern sich durch markante Merkmale wie Wuchshöhe, gentechnische Veränderung oder Zugehörigkeit zu einer anderen Art unterscheiden. Die Hybriden können Gene und Eigenschaften beider Elternteile enthalten.

Immunogen | Eine Immunantwort auslösend. Bei Pollenallergikern beispielsweise hat der Pollen von manchen Pflanzen eine immunogene Wirkung, die sich als Heuschnupfen manifestiert.

Immuntherapie | Behandlungsformen, bei denen das Immunsystem beeinflusst wird. Sie kommen beispielsweise bei der Bekämpfung von Allergien zum Einsatz.

Indikationsspektrum | Bezeichnet bei einem Antibiotikum die Palette von Bakterien, gegen die es wirksam ist.

Insertion | Einbau eines Stückes Erbmaterial oder auch nur einzelner Bausteine in das → Erbgut.

Interventionsstudie | Primär eine Studie, in der eine Intervention stattfindet. Dabei wird eine Gruppe von Menschen in zwei Untergruppen aufgeteilt. Die erste Untergruppe erhält die Intervention (z. B. ein Medikament, Informationen, Schulung), die andere nicht. Durch den Vergleich der beiden Untergruppen am Ende des Experiments zeigt sich, ob die Intervention zu einer Veränderung führte oder nicht.

Intragenese | Verfahren zur Genübertragung, bei dem die übertragene → DNA aus einer Kombination von Genabschnitten oder Genen mit fremden Steuerelementen besteht. Die DNA stammt, wie bei der → Cisgenese, aus der gleichen oder aus kreuzbaren anderen Pflanzen.

Invasionspotenzial | Das Potenzial einer Pflanze, sich ausserhalb von Gärten und landwirtschaftlichen Ökosystemen auf Kosten einheimischer Pflanzen auszubreiten.

Isolationsabstand | Abstand zwischen einem Feld mit gentechnisch veränderten Pflanzen und einem Feld mit konventionellen Pflanzen mit dem Zweck, eine → Auskreuzung zu vermeiden.

Isolinie | Ausgangssorte einer transgenen (→ Transgen) Pflanze, bevor sie gentechnisch verändert wurde. Manche Forschende verwenden diesen Begriff auch als Synonym für die → Schwesterlinie. (→ Kontrolllinie)

Keimbahn | Zur Keimbahn gehören Spermien und Eizellen und alle Vorstufen derselben. Genetische Veränderungen in der Keimbahn werden an die nächste Generation weitergegeben, weil sie letztlich Spermien oder Eizellen betreffen.

Koexistenz | Das Nebeneinander des Anbaus von Kulturpflanzen mit und ohne gentechnische Veränderungen. In der Schweiz ein umstrittenes Thema, da aufgrund der Kleinräumigkeit der schweizerischen Landwirtschaft die Befürchtung besteht, dass die Koexistenz nicht möglich ist.

Komplementäres Herbizid | → Herbizid

Kontrolllinie | Eine Pflanze, die in einem Experiment dem Vergleich dient. Um beispielsweise den Effekt einer gentechnisch herbeigeführten Pilzresistenz zu sehen, muss die gentechnisch veränderte Pflanze mit einer gentechnisch nicht veränderten Pflanze verglichen werden. Das kann die entsprechende Isolinie oder im Idealfall die Schwesterlinie sein.

Laktoferrin | Ein Protein, das in den Milchdrüsen von Säugetieren gebildet wird.

Linie | Die unterste Stufe in der Systematik der Zuchtpflanzen. Zuchtlinien entstehen nach Kreuzungen oder auch nach der Einfügung eines neuen Gens durch → Gentechnik. Die besten Linien werden in Zuchtprogrammen herausselektiert und können neue → Sorten werden.

Maiswurzelbohrer (westlicher) | Kleiner Käfer, der ursprünglich aus Mittelamerika stammt und sich seit den 1990er-Jahren auch in Europa verbreitet. Die Larven fressen an Maiswurzeln und verursachen grosse Schäden. Lateinisch: *Diabrotica virgifera*.

Maiszünsler | Europäischer Schmetterling, dessen Larven an den Stängeln und Kolben von Maispflanzen fressen und so Ertragsausfälle bewirken. Lateinisch: *Ostrinia nubilalis*.

Markergeren | Bei einer gentechnischen Veränderung weiss man nicht, ob der → Gentransfer erfolgreich war oder nicht. Darum wird bei jedem Transfer gleichzeitig auch ein sogenanntes Markergeren mit in die Zelle eingeschleust. Es verleiht der Zelle einfach zu überprüfende Eigenschaften, wie beispielsweise eine → Antibiotikaresistenz.

Mehltau, echter | Häufige Krankheit von Weizen und Gerste, verursacht durch den Pilz *Blumeria graminis f.sp.* und *f.sp. hordei*.

Modifizierte Stärkesynthese | Pflanzen können durch gentechnische Veränderungen andere Formen von Stärke bilden. Diese können beispielsweise unempfindlicher gegen Hitze und Kälte sein.

Moratorium | Die Schweizer Stimmberechtigten haben im Jahr 2005 ein Moratorium für den kommerziellen Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen beschlossen. Nach einer Verlängerung durch das Parlament gilt es bis November 2013.

mRNA | Bevor eine Zelle ein bestimmtes Protein herstellen kann, muss die entsprechende Bauanleitung im → Erbgut aktiviert und in die messenger RNA (mRNA) übersetzt werden. Sie ist eine Art Blaupause für die Konstruktion der Proteine.

Multilinie | Mehrere Weizenlinien (→ Linie), die im Feld als Mischung angebaut werden. Multilinen haben im Idealfall ein identisches → Erbgut, mit Ausnahme der Anwesenheit von einzelnen Resistenzgenen (→ Resistenz). Die Anwesenheit von unterschiedlichen Resistenzgenen führt zu einer Diversität in der Krankheitsabwehr und einer verbesserten Krankheitsresistenz.

Mutagen | → Mutagenese.

Mutagenese | Die künstliche Erzeugung von Genveränderungen im → Erbgut eines Lebewesens. Dazu werden Organismen wie Pflanzen oder Bakterien erbgutverändernden Bedingungen ausgesetzt. Diese reichen von der Bestrahlung bis zum Einsatz chemischer Stoffe. Die zufällig auftretenden Mutationen können zu neuen → Sorten führen, welche vorteilhafte Eigenschaften besitzen.

Mutterkorn | Ein Pilz, der verschiedene Getreidearten befällt, bevorzugt fremdbefruchtende Arten wie z. B. Roggen. Er produziert Giftstoffe, welche das Getreide für den Menschen ungeniessbar machen. Die Bezeichnung Mutterkorn führt auf seine frühere Verwendung als Abtreibungsmittel zurück, da die Giftstoffe Wehen auslösen können. Lateinisch: *Claviceps purpurea*.

Mykorrhizapilze | Bodenpilze, die mit den Wurzeln vieler Pflanzen in → Symbiose zusammenleben. Die Pilze helfen den Pflanzen, gewisse Nährstoffe wie zum Beispiel Phosphat aufzunehmen. Im Gegenzug dazu erhält der Pilz von der Pflanze Zucker.

Mykotoxine | Giftige Stoffe, die von Pilzen produziert werden. Sie können bei Menschen und Tieren bereits bei niedrigen Konzentrationen eine toxische Wirkung zeigen.

Nematoden | → Fadenwürmer.

Nichtzielorganismen | Alle Tiere und Pflanzen, die nicht Ziel einer Bekämpfung mittels einer bestimmten chemischen oder gentechnischen Methode sind.

Nitrat | Ein Salz, das den Pflanzen als Stickstofflieferant dient. Es entsteht im Boden beispielsweise bei der bakteriellen Umwandlung von Jauche.

Nukleasen | → Enzyme, die → Erbgut abbauen können. Sie dienen beispielsweise der Feindabwehr, indem sie das fremde Erbgut zerstören.

Nukleotide | Kleine Moleküle, welche unter anderem die Grundbausteine des → Erbguts bilden.

Nukleotidsequenz | Die Abfolge der einzelnen → Nukleotide im → Erbgut. Sie legt den Informationsgehalt eines Gens fest.

Octoploid | Das → Erbgut liegt in achtfacher Form in der Zelle vor. Das heißt, jedes Gen ist acht Mal vorhanden. (→ diploid)

Ökologischer Leistungsnachweis (ÖLN) | Der Schweizer Standard für eine umweltfreundliche Landwirtschaft. Nur Landwirte, welche die spezifischen ökologischen Auflagen erfüllen und somit den ÖLN erbringen, sind zum Bezug von Direktzahlungen berechtigt.

Parasitoid | Ein Insekt, dessen Larven sich von einem anderen Insekt ernähren und dieses letztendlich töten. Beispiel: Schlupfwespe.

Pathogenresistenz | Die Unempfindlichkeit einer Pflanze gegenüber einem Krankheitserreger wie beispielsweise einem Bakterium, einem Virus oder einem Pilz.

Pestizid | Chemischer oder biologischer Wirkstoff, der Insekten abtötet oder ihr Wachstum hemmt.

Pfropfen | Methode, die meist bei Obstbäumen und einigen Gemüsearten zum Einsatz kommt. Dabei wird ein Ast oder ein Spross einer gezüchteten → Sorte auf einen Wurzelstock oder Stamm einer zweiten Sorte gebunden. Mit der Zeit verwachsen beide Teile zu einer Pflanze, welche nun die guten Eigenschaften beider Sorten vereint.

Phänotyp | Die Gesamtheit aller Merkmale eines Organismus. Beispiele: rote Blüten, behaarte Blätter, hartschalige Samen.

Phytometer-Pflanzen | Pflanzen, die im Gewächshaus unter idealen Bedingungen aufgezogen und danach in einen vorhandenen Pflanzenbestand eingesetzt werden. Das Wachstum und die Entwicklung dieser Einzelpflanzen (Phytometer-Pflanzen) werden detailliert beobachtet. Dies erlaubt Rückschlüsse auf die Umweltbedingungen, denen diese Pflanzen ausgesetzt sind.

Phytoöstrogen | Chemische Verbindungen in manchen Pflanzen, die den weiblichen Hormonen von Menschen und Tieren sehr ähnlich sind. Oft dienen sie den Pflanzen als Abwehrstoffe gegen Pilze und Bakterien. Bei Schafen und Kühen können sie zu einer verminderten Geburtenrate oder gar zu Unfruchtbarkeit führen. Auf diese Weise halten die Pflanzen die Anzahl ihrer Fressfeinde im Zaum.

Plasmid | Ein kleines, ringförmiges Stück → Erbgut, das in Bakterien vorkommt. Diese können Plasmide untereinander austauschen und so beispielsweise Resistenzen gegenüber bestimmten Antibiotika weitergeben.

Pm3b-Resistenzgen | Ein Gen in Weizen, das ursprünglich aus einer Landsorte (→ Sorte) aus Usbekistan stammt und eine → Resistenz gegen den echten → Mehltau bewirkt. Andere → Allele dieses Gens (z. B. *Pm3a*, *Pm3c*) führen zu einem unterschiedlichen Resistenzspektrum gegen verschiedene Rassen des echten Weizenmehltaus.

Promotor | Ein Abschnitt auf dem → Erbgut mit regulierender Funktion. Durch ihn kann die Aktivität eines bestimmten Gens eingeschaltet werden (→ Expression).

Pseudomonas | Eine Gattung stäbchenförmiger, beweglicher Bakterien, die fast überall in der Umwelt vorkommen.

Referenzpflanze | → Kontrolllinie.

Rekombinant | Als rekombinant bezeichnet man ein Stück → Erbgut, nachdem es durch gentechnische Methoden verändert wurde. Proteine bezeichnet man als rekombinant, wenn sie künstlich mithilfe von gentechnisch veränderten Organismen oder in Zellkulturen hergestellt werden.

Rekombinationsenzym | Ein → Enzym, welches zwei Stücke → Erbgut an einer ganz bestimmten Stelle aufbricht und sie dort miteinander neu verbindet. Durch diese Veränderung wird das Stück Erbgut → rekombinant.

Resistenz | Die Widerstandsfähigkeit einer Pflanze (oder eines anderen Organismus) gegen schädliche Einflüsse wie → Herbizide, → Pestizide, Krankheitserreger, Schadinsekten, Trockenheit oder Hochwasser. Resistenzen können mittels herkömmlicher Züchtung oder mit gentechnischen Methoden in das → Erbgut der Pflanze eingebracht werden.

Rezessiv | Bezeichnet das schwächere von zwei Genen. (→ dominant)

RNA | Ribonukleinsäure (engl. Ribonucleic Acid) ist eine Nukleinsäure, die sich aus einer Kette vieler → Nukleotide zusammensetzt. Wesentliche Funktion der RNA ist die Umsetzung von genetischer Information in Proteine. Hierbei fungiert sie in Form der → mRNA als Informationsüberträger. Daneben erfüllen spezielle RNA-Typen in verschiedenen biologischen Systemen weitere Aufgaben.

Schwesterlinie | Bei der Vermehrung von gentechnisch veränderten Pflanzen unmittelbar nach der → Transformation entstehen sowohl Nachkommen, welche das künstlich eingebrachte Gen enthalten, als auch solche, bei denen es nicht weitervererbt wurde. Letztere sind die Geschwister der gentechnisch veränderten Pflanzen und kommen in Experimenten als → Kontrolllinien zum Einsatz.

Selektion | 1) Ein Naturgesetz, gemäss dem weniger gut angepasste Individuen einer Population geringere Überlebenschancen haben und weniger Nachkommen produzieren als die besser angepassten. Ihre Gene werden tendenziell weniger häufig weitergegeben, weil sie beispielsweise bei Trockenheit oder Schädlingsbefall geringere Überlebenschancen haben.
2) Auswahlverfahren in der Pflanzenzüchtung zur Identifikation der besten → Linien, die dann zu neuen → Sorten führen.

Selektionsvorteil | → Selektion.

Somatische Zelle | Eine Körperzelle, die nicht zur → Keimbahn gehört. Genetische Veränderungen in somatischen Zellen werden nicht an die nächste Generation weitergegeben. Beispiele: Muskelzellen, Nervenzellen, Fettzellen.

Sorte | Eine Variante einer bestimmten Nutzpflanzenart. Sie muss sich durch verschiedene Merkmale wie Grösse, Farbe, Geschmack oder chemische Zusammensetzung von anderen Sorten der gleichen Art unterscheiden.

Streptomycin | Ein Antibiotikum, das von Bodenpilzen gebildet wird. Es kommt unter anderem in der Landwirtschaft zur Bekämpfung des Feuerbrand-Erregers zum Einsatz.

Symbiose | Das Zusammenleben von Organismen unterschiedlicher Arten, das für beide Partner einen Vorteil bringt.

Terminator | Eine kurze Sequenz auf dem → Erbgut, die das Ende eines Gens bezeichnet. So weiss die Zelle, wo ein Gen aufhört und wo das nächste beginnt.

Transformation | Die Übertragung von → DNA in Bakterien, Pilze oder Pflanzen. Die Transformation wird in der → Gentechnik benutzt, um transgene (→ Transgen) Organismen zu erzeugen.

Transgen | Gen, das mit gentechnischen Methoden in das → Erbgut einer anderen Art (Pflanze, Tier, Bakterium) eingebracht wurde.

Transplastomisch | Plastide sind Zellorganellen der Pflanzen, die als kleine Kraft- oder Chemiewerke in den Zellen funktionieren. Sie werden unter anderem für die Photosynthese benötigt und verfügen über eigenes → Erbgut. Wird dieses gentechnisch verändert, spricht man von transplastomischen → Pflanzenlinien.

Transposon | Ein kurzer Abschnitt im → Erbgut, der seine Position innerhalb des Erbguts selbstständig verändern kann. Ein Transposon kann also von einer Stelle zur anderen hüpfen wie eine Textstelle, die ausgeschnitten und ein paar Seiten später wieder eingefügt wird.

Trypsin | Eine Gruppe von Verdauungsenzymen (→ Enzym), die im Dünndarm Proteine zersetzen.

Vektormolekül | Ein Molekül, das als → Genvektor verwendet werden kann.

Vererbungsregeln | Eine Reihe von Naturgesetzen, die bei der Kreuzung eines männlichen und eines weiblichen Organismus bestimmen, wie die Gene auf die Nachkommen verteilt werden.

Zielorganismus | Alle Tiere und Pflanzen, die das Ziel einer bestimmten Bekämpfungsmethode wie beispielsweise eines → Pestizids oder eines gentechnisch eingebrachten Schutzmechanismus sind. (→ Nichtzielorganismus)

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Vorspann

Abbildung A: Von der Urform zur Kulturpflanze

Klassischer Wildreis

Reispflanze

Einkorn

Weizenpflanze

Teosinte

Maispflanze

Abbildung B: Weltweite Anbauflächen gentechnisch veränderter Pflanzen

Kapitel 1

Abbildung Titelblatt**Abbildung 1.1:** Das Prinzip der Umweltrisikoprüfung in der EU**Abbildung 1.2:** Studien zur biologischen Sicherheit von GVO**Abbildung 1.3:** Risiko der Ausbreitung im Kulturland**Abbildung 1.4:** Mehltaresistenz transgener Weizenpflanzen**Abbildung 1.5:** Resistenz von Multilini in Feldversuch**Abbildung 1.6:** Veränderungen von Merkmalen im Gewächshaus und im Feldversuch**Abbildung 1.7:** Spezielle Ährenformen transgener Linien**Abbildung 1.8:** Weizenenerträge an zwei Standorten**Abbildung 1.9:** Anfälligkeit für Apfelschorf**Abbildung 1.10:** Fischimpfung mit transgenen Grünalgen**Abbildung 1.11:** Einfluss von eingeführten Pilzresistenzgenen auf die Anzahl nützlicher Mikroorganismen auf den Wurzeln**Abbildung 1.12:** Einfluss von Bt-Mais auf das Ökosystem «Boden»**Abbildung 1.13:** Häufigkeit von vier Bodentiergruppen bei der Streuezersetzung**Abbildung 1.14:** Beziehungsnetz von Herbivoren und deren Parasiten auf Weizen**Abbildung 1.15:** Befall verschiedener Weizenlinien mit pathogenen Pilzen und Parasiten**Abbildung 1.16:** Beziehungsnetz von Herbivoren und deren Parasiten auf Mais**Abbildung 1.17:** Messgerät für Duftstoffe – der Olfaktometer

Bildquelle

Henk Mentink, flickr.com
 Prisma
 Prisma
 Simone Nägeli, UZH
 Karl Haro von Mogel, flickr.com
 Prisma
 ISAAA

Bildquelle

Corbis
 Detlef Bartsch, BVL
 Detlef Bartsch, BVL
 iStockphoto
 Susanne Brunner, UZH
 Susanne Brunner, UZH
 Simon Zeller, UZH
 Susanne Brunner, UZH
 Fabio Mascher-Frutschi, ART
 Diverse, ETH
 Corbis
 Joana Beatrice Meyer, Monika Maurhofer, ETHZ; Christoph Keel, unil
 Andreas Fliessbach, FiBL
 Wolfgang Nentwig, unibe
 Andreas Keller, nach einer Grafik von Jörg Romeis, ART
 Grafik: Jörg Romeis, ART; Fotos: Susanne Brunner, UZH; Mario Waldburger, ART
 Andreas Keller, nach einer Grafik von Claudia Zwahlen, unine
 Sergio Rasmann, Ted Turlings (2007) Simultaneous feeding by aboveground and belowground herbivores attenuates plantmediated attraction of their respective natural enemies. Ecol. Lett. 10, 926-936.

Kapitel 2

Abbildung Titelblatt

Abbildung 2.1: Koexistenz von Landwirtschaftsformen mit und ohne Gentechnik

Abbildung 2.2: Ernte von gentechnisch verändertem Soja in den USA

Abbildung 2.3: Landwirtschaft im tschechischen Böhmen

Abbildung 2.4: Aussaat von gentechnisch verändertem Weizen

Abbildung 2.5: Die gesetzlichen Grundlagen für eine Koexistenzregelung in der Schweiz

Kapitel 3

Abbildung Titelblatt

Abbildung 3.1: Sicherheitsanalyse bezüglich menschlicher Gesundheit

Abbildung 3.2: Versuchsfeld mit gentechnisch verändertem Weizen in Pully bei Lausanne

Abbildung 3.3: Präferenzen der Konsumenten für gentechnisch veränderte Lebensmittel

Abbildung 3.4: Zustimmung zur Förderung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln

Abbildung 3.5: Pro- und Kontra-Argumente

Abbildung 3.6: Die Grüne Gentechnologie in der Öffentlichkeit

Abbildung 3.7: «Hergestellt aus gentechnisch veränderten Tomaten»

Kapitel 4

Abbildung Titelblatt

Abbildung 4.1: Enorme Kosten wegen Sicherheitsmassnahmen

Abbildung 4.2: Kostenanteile bei Feldversuchen

Abbildung 4.3: Eintrittspfade für GVO

Abbildung 4.4: Saatgutproduktion in Rheinau im Kanton Zürich

Abbildung 4.5: Tabak als Ziel neuer gentechnischer Methoden

Abbildung 4.6: Ein Weinbaugebiet von Bedeutung – «Lavaux» am Genfersee

Abbildung 4.7: Kohlernte in der Schweiz

Bildquelle

Avenue Images
iStockphoto
Prisma
Prisma
Konsortium Weizen
Andreas Keller, nach Rainer J. Schweizer

Bildquelle

Avenue Images
Karoline Dorsch-Häsler, adaptiert aus: EFSA (2008) Safety and nutritional assessment of GM plant derived food and feed. The role of animal feeding trials. Food and Chemical Toxicology 46, 2-70.
NFP 59
Avenue Images
George D. Gaskell, Sally Stares, Agnes Allansdottir (2010) Europeans and biotechnology in 2010: Winds of Change? Brussels: European Commission, Directorate General for Research.
Heinz Bonfadelli, Werner A. Meier (2010) Grüne Gentechnologie im öffentlichen Diskurs. Interessen, Konflikte und Argumente. Konstanz: UVK.
Avenue Images
Keystone

Bildquelle

Avenue Images
Simon Zeller, UZH
Susanne Brunner, nach Zahlen aus: Bernauer, T., Tribaldos, T., Luginbühl, C., Winzeler, M. (2011) Government regulation and public opposition create high additional costs for field trials with GM crops in Switzerland. Transgenic Res. 20, 1227–1234.
Adaptiert aus: Baudirektion Kanton Zürich, AWEL. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft / NFP 59 / Forschungsgemeinschaft für Rechtswissenschaft, Universität St. Gallen / Amt für Umweltschutz Fürstentum Liechtenstein, Datengrundlagen für die Regelung der Koexistenz von Produktionsmethoden mit und ohne Gentechnologie, Teil III Modellierung des Genflusses im landwirtschaftlichen Produktionsprozess mittels Szenarien, Zürich 2009, S. 13.
Marius Born, Winterthur
Avenue Images
Keystone
Avenue Images

TABELLENVERZEICHNIS**Kapitel 1****Tabelle 1.1:** Im Weizenversuch verwendete Resistenzgene und Einsatz der verschiedenen Weizenlinien**Kapitel 2****Tabelle 2.1:** Kosten der Koexistenzmassnahmen am Beispiel Winterweizen**Tabelle 2.2:** Vergleich der Wirtschaftlichkeit von konventionellem, schädlingsresistentem
und herbizidtolerantem Mais**Tabelle 2.3:** Isolationsabstände gemäss Vorschlag der Technischen Arbeitsgruppe Mais des ECoB

Quelle

Beat Keller, UZH

Quelle

Gregor Albisser Vögeli, Frank Burose, Daniel Wolf und Markus Lips (2011) Wirtschaftlichkeit gentechnisch-veränderter Ackerkulturen in der Schweiz: Mit detaillierter Berücksichtigung möglicher Koexistenz-Kosten, ART.

Gregor Albisser Vögeli, Frank Burose, Daniel Wolf und Markus Lips (2011) Wirtschaftlichkeit gentechnisch-veränderter Ackerkulturen in der Schweiz: Mit detaillierter Berücksichtigung möglicher Koexistenz-Kosten, ART.

Czarnak-Klos, M., Rodriguez-Cerezo, E. (2010) European Coexistence Bureau Best Practice Documents for coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming: 1. Maize crop production. EUR 24509 EN. Seville: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.

Nationales Forschungsprogramm «Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen» (NFP 59)



Olivier Sanvido, Andreas Bachmann, Jörg Romeis, Klaus Peter Rippe, Franz Bigler

Valuating environmental impacts of genetically modified crops – ecological and ethical criteria for regulatory decision-making (VERDI)



2012, 192 Seiten, zahlreiche Abbildungen und Tabellen,
Format 17 x 24 cm, broschiert, ISBN 978-3-7281-3443-1

The VERDI Project is a interdisciplinary collaboration between biosafety experts and risk ethicists. Its aim is to develop recommendations for decision makers and regulatory authorities, thus helping to improve the regulation of GM plants. The results show that both the unambiguous description of protection goals and the establishment of a basis of comparison are two essential criteria when defining harm. The book presents a proposal how criteria for the evaluation of GM crops could be developed.



NFP 59: Review of International Literature

Karin Hoffmann-Sommergruber, Karoline Dorsch-Häsler



Medical Issues Related to Genetically Modified Plants of Relevance to Switzerland

2012, 54 Seiten, zahlreiche Abb., Format 21 x 29.7 cm,
brochert, ISBN 978-3-7281-3496-7

Joachim Scholderer, Wim Verbeke



Genetically Modified Crop Production: Social Sciences, Agricultural Economics, and Costs and Benefits of Coexistence

2012, 60 Seiten, zahlreiche Abb., Format 21 x 29.7 cm,
brochert, ISBN 978-3-7281-3494-3

Jeremy Sweet, Detlef Bartsch



Synthesis and Overview Studies to Evaluate Existing Research and Knowledge on Biological Issues on GM Plants of Relevance to Swiss Environments

2012, 94 Seiten, zahlreiche Abb., Format 21 x 29.7 cm,
brochert, ISBN 978-3-7281-3498-1

This literature review is part of the National Research Programme NRP 59 «Benefits and Risks of the Deliberate Release of Genetically Modified Plants». It is one of a total of three such reviews, which are:

- Medical Issues Related to Genetically Modified Plants of Relevance to Switzerland
- Genetically Modified Crop Production: Social Sciences, Agricultural Economics, and Costs and Benefits of Coexistence
- Synthesis and Overview Studies to Evaluate Existing Research and Knowledge on Biological Issues on GM Plants of Relevance to Swiss Environments

They aim to distil relevant scientific data from the results of international studies on GMP that could help to shape future research and decision-making processes in Switzerland.

Programmsynthese NFP 59

Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen

Die hier vorliegende Programmsynthese stützt sich auf 30 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen» (NFP 59) durchgeführte Forschungsprojekte und drei ausführliche Analysen einer Vielzahl relevanter Studien aus dem Ausland. Neben den Kapiteln, welche die Ergebnisse der Forschung im NFP 59 zusammenfassen, bietet die Programmsynthese auch fünf ausgewiesenen Experten Platz für Meinungstexte zu verschiedenen Aspekten der Grünen Gentechnik. Die Synthese hat das Ziel, wissenschaftliche Grundlagen für sachgerechte politische Diskussionen und Entscheidungen zur Grünen Gentechnik in der Schweiz zu liefern. Das umfassende Literaturverzeichnis sowie die beigelegte DVD erschliessen die detaillierten wissenschaftlichen Grundlagen.



www.vdf.ethz.ch
verlag@vdf.ethz.ch

Herausgeber: Leitungsgruppe des Nationalen Forschungsprogramms 59

ISBN 978-3-7281-3483-7 (Printausgabe)

ISBN 978-3-7281-3484-4/DOI 10.3218/3484-4 (open access)



Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen
Nationales Forschungsprogramm NFP 59